ÜBER DIE FEINSTRUKTUR DER SPINALEN NERVENWURZELN UND ZUR HISTOGENESE DER RENAUTschen KÖRPERCHEN BEIM HUND

Marie Cemus

Diss
München
1904

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546827_0003

Aus dem Institut für Tierpathologie
der Universität München
Lehrstuhl für Allgemeine Pathologie und Neuropathologie
Professor Dr. Erwin Dahme

ÜBER DIE FEINSTRUKTUR DER SPINALEN NERVENWURZELN UND ZUR HISTOGENESE DER RENAUTschen KÖRPERCHEN BEIM HUND

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde der
Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig - Maximilians - Universität München

von
Marie Cemus
aus Prag

München 1984

Gedruckt mit Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Universität München

Dekan: Prof. Dr. W. Leidl

Referent: Prof. Dr. E. Dahme

Korreferent: Prof. Dr. B. Vollmerhaus

Tag der Promotion : 27. Juli 1984

Meinen lieben Eltern

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	EINLEITUNG	1
2.	LITERATUR ZU DEN SPINALEN NERVEN-WURZELHÜLLEN	3
2.1.	Historischer Überblick zur Untersuchung der Nervenwurzelhüllen bis zum Ende des 19. Jahrhunderts	3
2.2.	Feinstrukturen der Hüllen der Nervenwurzeln	10
2.2.1.	Einleitung	10
2.2.2.	Die verschiedenen Durchtrittsvariationen der dorsalen und ventralen Nervenwurzeln	10
2.2.3.	Der proximale Teil der Wurzelscheide	12
2.2.4.	Distaler Teil der Wurzelscheide und subarachnoidaler Winkel	18
2.2.5.	Das Perineurium	22
2.2.6.	Unterschiede zwischen der dorsalen und ventralen Nervenwurzel	26
3.	LITERATUR ZU DEN RENAUTschen KÖRPERCHEN	29
3.1.	Der Begriff und Lokalisation der RENAUTschen Körperchen	29
3.2.	Thesen zur Bedeutung der RENAUTschen Körperchen	36

Seite

4. EIGENE UNTERSUCHUNGEN 39

4.1. Material und Methodik 39

4.1.1. Material 39

4.1.2. Methodik 40

4.2. Beprechung der eigenen Befunde 43

4.2.1. Untersuchung der spinalen Wurzelscheide 43

4.2.1.1. Unterschiede der einzelnen Rückenmarkssegmente und der dorsalen und ventralen Wurzeln 43

4.2.1.2. Die Wurzelscheide in ihrem rückenmarksnahen Abschnitt 44

4.2.1.3. Die Wurzelscheide in ihrem mittleren Abschnitt 48

4.2.1.4. Die Wurzelscheide im Bereich des Duradurchtrittes mit Ausbildung des arachnoidalen Winkels 49

4.2.1.5. Die Wurzelscheide im Bereich des Duradurchtrittes ohne Ausbildung eines arachnoidalen Winkels 55

4.2.1.6. Extraduraler Bereich der Wurzelscheide 58

4.2.2. Untersuchung der RENAUTschen Körperchen 62

4.2.2.1. Lichtmikroskopische Untersuchung 62

Seite

4.2.2.2. Elektronenmikroskopische Untersuchung 63

5. DISKUSSION 70

6. ZUSAMMENFASSUNG 76
SUMMARY 78

7. LITERATURVERZEICHNIS 80

1. EINLEITUNG

In der weiteren Verfolgung der kausalen und formalen Genese von Tumoren des zentralen und peripheren Nervensystems ergeben sich speziell für Neoplasien im Bereich cerebrospinaler Nerven und Nervenwurzeln besondere histogenetische Probleme. In deren Mittelpunkt steht die Frage, von welchen Zelltypen die Neoplasien ihren Ausgang nehmen; mit anderen Worten, welche der am Nervenaufbau beteiligten oder dem Nerven eng zugeordneten Zellen neoplastisch transformiert werden können. Hierbei sind grundsätzlich in Betracht zu ziehen die Zellen des Epi-, Peri- und Endoneuriums, die Schwannzelle und - im Wurzelursprungsbereich - auch piale, arachnoidale, neurotheliale und pachymeningeale Zellen. Dieser Katalog grundsätzlich zu berücksichtigender Zellen sowie die Tatsache, daß- speziell beim Hund - Tumoren cerebrospinaler Nerven(wurzeln) sich nahezu durchweg semimaligne bis maligne verhalten, also geringe Differenzierung erkennen lassen, machen den Wunsch nach eindeutigen morphologischen Kriterien für das Ansprechen der einzelnen Zelltypen verständlich. Da nun aber das einschlägige neuroanatomische und neuropathologische Schrifttum hierzu noch keine definitiven Aussagen erlaubt, wurde mit dem Thema der vorliegenden Arbeit die Aufgabe gestellt, die spinalen Nervenwurzeln des Hundes in allen Rückenmarksabschnit-

ten einer licht- und elektronenmikroskopischen Analyse zu unterziehen.

Neben der Erarbeitung morphologischer bzw. feinstruktureller Kriterien für die eindeutige Typisierung normaler Zellen des Nervenwurzelbereiches als Grundlage für die Typisierung analoger Tumorgewebe war es Aufgabe dieser Arbeit, nichttumoröse Hyperplasien cerebrospinaler Nerven, die unter der Bezeichnung RENAUTsche Körperchen laufen, nach histogenetischen Grundsätzen elektronenmikroskopisch zu analysieren. Diese Fragestellung erschien vor allem deshalb so wichtig, als bisher nur wenige elektronenmikroskopische Studien über die RENAUTschen Körperchen vorliegen und überdies nur die Menschen betreffen. Sie lassen die gewebliche Herkunft der die Hyperplasie bedingenden Zellproliferationen insoweit offen, als zwar die Perineuralzelle als wesentliche Zelle verdächtigt wird, jedoch auch endoneurale und SCHWANNsche Zellen in Betracht gezogen werden.

2. LITERATUR ZU DEN SPINALEN NERVENWURZELHÜLLEN

2.1. Historischer Überblick zur Untersuchung der Nervenwurzelhüllen bis zum Ende des 19. Jahrhunderts

Schon Claudius GALENUS (129 - 201 n. Chr.) hatte versucht, begründet darzulegen, daß jeder Nerv aus drei Substanzen gebildet wird, von welchen die mittlere, als größter Anteil, vom Gehirn selbst ausgehen und sowohl von einem Fortsatz der dünnen wie der dicken Membran umhüllt sein soll. Er stellte sich damit gegen die Auffassung ERASISTRATUS', der die Nerven nicht vom Gehirn, sondern aus den Membranen selbst hergeleitet hatte.
VIEUSSENS (1690) gelangte zu der Auffassung, die aus dem Rückenmark abgehenden Nerven seien von der Pia mater umhüllt, während WINSLOW (1732) glaubte, am Rückenmark gebe die Arachnoidea in derselben Weise wie die Dura mater zu jedem Nervenstamm Verlängerungen ab. PROCHASKA (1779) meinte demgegenüber, die vom Rückenmark abgehenden Nerven seien von drei Häuten in der Weise umgeben, als von den knöchernen Austrittsstellen an Arachnoidea und innere Schicht der Dura mater zusammen die Nerven in ein zelliges Gewebe einhüllen und die Pia mater die innerste Hülle gibt.

PFEFFINGER (1791) kam zu folgendem Konzept: Die Dura mater schlägt sich beim Austreten der Nerven entweder

vollständig oder teilweise zum Periost der Knochen hin um. Im letzteren Falle legt sich dann die innere Schicht der Nerven an und löst sich in ihre zellgewebige Hülle auf, welche bald stärker, bald schwächer wird. Außerdem bilden Arachnoidea und Pia mater Scheiden für die austretenden Nerven. Dabei sendet die Pia mater Scheidewände ins Innere der Nerven und umgibt sogar jedes Markfädchen mit einem besonderen Kanälchen.

Etwa zur gleichen Zeit vertrat MONROE (1783) die Ansicht, die Nervenstämme seien von einer dicken und starken Membran bedeckt, die eine Fortsetzung des inneren Teils der Dura mater darstelle. Der innere Teil dieser so gebildeten Scheide sei am Ursprung der Spinalnerven noch mit dem Rückenmark verwachsen und bedecke die Nervenbündel offenbar noch eine gewisse Strecke, nachdem sie den Wirbelkanal verlassen haben. MONROE sah also die äußere Hülle lediglich als eine Fortsetzung der Dura mater. Die Ansicht von ZINN (1753), diese Fortsetzung der Dura mater an den Nerven könne nicht eindeutig erwiesen werden und die äußere Hülle der Nerven müsse als verdichtetes Zellgewebe betrachtet werden, sei insofern richtig, als die Dura mater in Wirklichkeit nicht als die ganze äußere Nervenhülle angesehen werden könne. Sie stimme aber mit ihr in so vielen Beziehungen überein, daß man sie wohl für eine Fortsetzung derselben halten könne.

Nach SOEMMERRING (1798) sollen die abgehenden Nerven von einer Falte der Arachnoidea umhüllt werden, wonach diese Membran zur Innenfläche der Dura mater übergeht.

Auch BICHAT (1802) glaubte, die Arachnoidea begleite die Nerven bis zu ihren Austritt aus dem Wirbelkanal, schlage sich dort um und gehe auf die Innenfläche der Dura mater über, während sich die Pia mater bald auf den Nerven verliere und nirgends ein solches Umschlagen zeige. Seiner Meinung zufolge ist der membranöse Kanal oder das Neurilem, das jeden Nerven umgibt, also eine Fortsetzung der Pia mater, während nach BURDACH (1819-1822) am Rückenmark die Pia von den Nerven durchbohrt werden und die Arachnoidea Scheiden um die Nerven auf ihrem Wege von der Pia mater bis zur Dura mater bilden soll.
BOGROS (1827) hatte versucht, die spinalen Nervenwurzeln zu injizieren, die nach seiner Ansicht nicht, wie die übrigen peripheren Nerven, für die Injektion durchgängig sein sollten. Ob die Scheide der Nervenstämme durch eine Fortsetzung der Dura mater verstärkt werde oder ob dies "nur der coincidirende Effect der eigentümlichen Anordnung der Hüllen des Nervensystems sey", sollte nach VALENTIN (1836) erst nach einer sicheren mikrochemischen Analyse definitiv bestimmbar werden. Was die Pia mater betrifft, so glaubte er, wird ihr äußeres Blatt von den ausgehenden Nerven in der Weise durchbohrt, daß ihre Fasern in schön geschwungenen Bögen um dieselben herumgehen und die zellgewebigen Fasern der inneren Schichten der Pia mater sich mit den Primitivfasern der Nerven "in das äusserst feine Zellgewebe, welches fast alle inneren Theile des Rückenmarks durchzieht, unmittelbar, wie es scheint" fortsetzen.

ARNOLD (1838) schließt sich bezüglich des Verhaltens der Arachnoidea zu den austretenden Nerven im großen und ganzen der Auffassung von BICHAT an. Er läßt diese Membran aus zwei Säckchen bestehen, die in allen Räumen zwischen den Nerven zusammenhängen, wobei die Arachnoidea sich nicht weiter auf den austretenden Nerven fortsetzt.

Nach GERBER (1840) vereinigen sich die im Rückenmark getrennten Wurzeln der Primitivfäden nach ihrem Austritt zu feinen Bündeln, die von einer Fortsetzung der Gefäßhaut oder weichen Rückenmarkshaut (der weichen Nervenscheide) und außerdem von einer harten Scheide, als Fortsetzung der fibrösen harten Haut, umgeben werden.

REMAK (1841) glaubte, die Stränge aller Wurzeln der Rückenmarksnerven seien bei Säugetieren und Vögeln vom Durchtritt durch die Dura mater an von einer glasähnlichen, jedoch zelligen Substanz begleitet. Diese Substanz werde von feinem Neurilem bedeckt, und manchmal gelinge es, eine Fortsetzung dieser Substanz von den Strängchen der dorsalen Nervenwurzeln bis auf die Oberfläche der Spinalganglien zu verfolgen. Wahrscheinlich sei die von ihm früher beschriebene Epitheliumschicht zwischen Neurilem und Primitivröhren der Nervensträngchen eine Fortsetzung dieser glashellen Substanz, die aus kernhaltigen Zellen mit und ohne Fortsätze und aus zarten, mit Kernen versehenen Fasern bestehe.

Nach KÖLLIKER (1850) enthalten die Wurzeln der Rückenmarksnerven eine zarte Bekleidung durch die Pia mater,

setzen sich konvergierend durch den Subarachnoidalraum fort und durchbohren dann, jede für sich, auch die Arachnoidea und Dura mater, wobei letztere ihnen eine feste Hülle abgibt. Dabei bildet das von der Pia mater abstammende und wie diese gebaute Neurilem der Nervenwurzeln sowohl eine äußere Hülle um die Wurzeln, als auch die inneren Scheidewände um die einzelnen Nervenbündel. Demgegenüber geht nach LUSCHKA (1855) nur ein geringer Teil der Arachnoidea, vorwiegend ihre oberste Schicht, auf die Innenfläche der Dura über, während die übrige Haut scheidenartige Fortsätze für die Nerven nach außen hin sendet.

Nach SHARPEY (1856) werden die Fasern der spinalen Nerven aus ihren Wurzeln zu Bündeln vereinigt, von denen jedes von einer Neurilemscheide bekleidet wird. Diese Bekleidung wird als Verlängerung der Pia mater betrachtet. Tatsächlich wurde also an verschiedenen Nervenwurzeln deren Verbindung mit dieser Membran sehr deutlich sichtbar.
In weiteren Nachforschungen hatte SHARPEY dann folgendes gefunden: Die Nervenwurzeln laufen unterhalb der Arachnoidea und durchbohren diese beim Austritt nicht. Vielmehr setzt sich die viszerale Lamelle der Arachnoidea über der Nervenwurzel fort und umgibt diese lose bis zur Austrittsöffnung in der Dura mater, um dann den Nerven zu verlassen, auf die innere Fläche der Dura mater zu verlaufen und in die parietale Lamelle der Arachnoidea überzugehen. Die Dura mater begleitet die Nerven vom Wurzeldurchtritt an und geht in die äußere Nervenhülle über; diese äußere Scheide behält aber nicht lange die dichte fibröse

Beschaffenheit der Dura mater.
Nach FROMMANN (1864) enthalten die Nervenwurzeln bei ihrem Austritt aus dem Rückenmark von der Pia mater sowohl eine Hülle, die sie als Ganzes umgibt, als auch Fasern,die sich zwischen die einzelnen Nervenfasern einschieben und sie voneinander trennen. Bei seinen Untersuchungen kam er insgesamt zu folgenden Ergebnissen: An Querschnitten von Nervenwurzeln sieht man von der Pia mater einen Teil ihrer Fasern sich abzweigen, der die äußere Bekleidung der Wurzel darstellt, und zahlreiche dünne Septen, die nach innen ziehen. Ein anderer Teil durchsetzt die Wurzel, selten in gerader Richtung, meist in einem, nach außen konvexen Bogen und spaltet sich in mehrere Faserbündelchen, von denen eine große Anzahl feiner Äste abzweigen, die nach außen und innen, besonders aber nach außen zwischen den Nervenfasern weiter verlaufen. Der Rest der Fasern der Pia mater löst sich zu einem Netzwerk auf, das quer den Wurzelstamm durchsetzt. Die kleineren der ventralen Wurzelstämmchen lassen in der Regel keine Durchbrechung seitens der Piafasern erkennen. Diese streifen nur vorbei und geben Bündel zur äußeren Hülle, von der Fasern nach innen treten. Die äußere Hülle wird ferner durch Fasern aus der longitudinalen Schicht der Pia mater verstärkt.
Nach Darstellung von QUAIN (1866) werden die spinalen Nerven an ihren Austrittsöffnungen innerhalb der Dura von tubulären Scheiden der Arachnoidea lose umgeben, welche sich entlang jedes Nerven vom viszeralen zum parietalen Blatt erstrecken. Die Pia mater geht dage-

gen an den Nervenwurzeln in das Neurilem über. Beobachtungen über das Verhalten der Rückenmarkshäute zu den Nervenwurzeln durch KEY und RETZIUS (1873) brachten neue wesentliche Erkenntnisse über die Feinstruktur in diesem Bereich, die sich wie folgt kurz darlegen lassen: Die Häute bilden Umhüllungen und verbindende Balken an den einzelnen Nervenbündeln. Dadurch werden die einzelnen Nervenbündel mehr und mehr vereinigt, um endlich die jeweils austretenden Nerven zu formen. Diese sind aber vor ihrem Austritt aus dem Kanal der Rückenmarkshäute oft auf einer längeren oder kürzeren Strecke durch durchbrochene Subarachnoidalhäutchen oder strafferes Balkenwerk der Innenseite der Arachnoidea angeheftet. Am eigentlichen Austritt der Nerven findet man, daß die Dura mater eine Scheide an jeden Nerven abgibt, von der er röhrenförmig umgeben wird.

Damit stellten die Untersuchungen der Bindegewebshüllen des Nervensystems durch KEY und RETZIUS bis zum Beginn der elektronenmikroskopischen Ära das allseits akzeptierte Fundament für die Kenntnisse der Feinstruktur der Nervenhülle dar. Auch die von diesen Autoren eingeführte Nomenklatur behielt bis heute nahezu vollständig ihre Gültigkeit.

2.2. Feinstrukturen der Hüllen der Nervenwurzeln

2.2.1. Einleitung

In der Zeit nach KEY und RETZIUS befaßten sich zunächst zahlreiche Wissenschaftler in lichtmikroskopischen Untersuchungen mit den Bindegewebshüllen peripherer Nerven und ihrer Wurzeln. Einige von ihnen sollen hier nur summarisch zitiert werden: NAGEOTTE (1902), SICARD u. CESTAN (1904), ELMAN (1923), LAIDLAW (1930), TARLOW (1937), GLEES (1943), SOMBERG (1947), LINDBLOM (1948), CRESCITELLI (1951), KRNJEVIC (1954), GASSER (1955), CAUSEY und BARTON (1959), CLARA und ÖZER (1959), REXED und WENSTRÖM (1959).
Auch wenn diese Forscher interessante Einzelergebnisse beschrieben haben, so konnten doch die Grenzen zwischen den einzelnen Bindegewebshüllen lichtmikroskopisch im wesentlichen nicht identifiziert werden. Aus diesem Grund blieb auch die Frage nach dem Beginn des Perineuriums in den proximalen Abschnitten der Nervenwurzeln unbeantwortet. Erst die Elektronenmikroskopie brachte die grundlegende Voraussetzung für die exakte Beschreibung dieser Feinstrukturen.

2.2.2. Die verschiedenen Durchtrittsvariationen der dorsalen und ventralen Nervenwurzeln

Nach MALLOY und LOW (1974) verlaufen - makroskopisch

gesehen - die dorsalen und ventralen Wurzeln beim Hund in drei verschiedenen Variationen:

1. Die dorsalen und ventralen Wurzeln nähern sich schräg der Austrittsstelle und durchdringen die Dura mittels einer einfachen gemeinsamen Austrittsöffnung. Die solchermaßen verlaufenden Wurzeln werden insgesamt von einer gewöhnlichen Epineuriumscheide umschlossen. So entsteht der Recessus lateralis des Subarachnoidalraumes und breitet sich seitlich zwischen dorsalen und ventralen Wurzeln aus. Dieser Nervenwurzeltypus findet sich in den tieferen lumbalen und sakralen Segmenten, ferner an den Zervikalnervenwurzeln 1 und 2.
2. Die dorsalen und ventralen Wurzeln treten jeder für sich mittels einer eigenen Öffnung durch die Dura mater. Diese Art von Wurzeln bestehen von der achten Zervikalnervenwurzel bis zum mittleren Lumbalsegment.
3. Die Fasern jeder einzelnen Wurzel treten für sich in mehr als einer Austrittsöffnung durch die Dura mater. Dieser komlizierte Typus ist im Bereich vom dritten bis zum siebten Zervikalsegment zu finden. Diejenigen Nervenwurzeln, die die Dura mater mit je einem separaten Austritt durchdringen, werden jeweils von einer eigenen Epineuriumscheide bis zum Spinalganglion umgeben.
Auf diese Weise entsteht zwischen der dorsalen und ventralen Wurzel ein Foramen interradiculare.

2.2.3. Der proximale Teil der Wurzelscheide

Die spinalen Nervenwurzeln verlassen das Rückenmark als ein Bündel von Wurzelfasern. Diese laufen zusammen, werden von flachen Zellen umhüllt, indem sie den Subarachnoidalraum durchqueren. Diese Hülle wird unterschiedlich benannt: "Wurzelscheide", "Pia-Arachnoidea", "piale Scheide", "Wurzelfaserarachnoidea" (HALLER und LOW 1971; McGABE und LOW 1969).
SHANTA und BOURNE (1962 a u. b, 1964, 1966, 1968) haben an eine kontinuierliche Hülle des zentralen und peripheren Nervensystems geglaubt und sie als "perineurales Epithel" bezeichnet.
Nach BENKE und RÖHLICH (1964) unterscheidet sich die Spinalwurzelscheide in ihrer Feinstruktur von der Pia mater, der Arachnoidea und dem Perineurium; ihre innere Zellschicht soll jedoch mit dem Perineurium vergleichbar sein. Die Membrana limitans gliae wird von einer Basalmembran begleitet, welche im Bereich des Austritts einer Wurzel aus dem Rückenmark in die Basalmembran der peripheren marklosen und markhaltigen Nervenfasern direkt übergeht. Bei der Durchquerung des Subarachnoidalraumes ist die Wurzel vom Mesothel umgeben, das den Subarachnoidalraum vollständig auskleidet (ANDRES 1967).

Nach HALLER und LOW besteht die typische Wurzelscheide aus drei oder vier Zellschichten, die Variationsbreite soll jedoch bei zwei bis zwölf Schichten liegen können: Die äußeren, an den Subarachnoidalraum grenzenden Schichten sind lose angeordnet, interdigitieren und bilden verschieden große, oft mit Bindegewebsfasern und amorpher Grundsubstanz gefüllte Lakunen. Sowohl zwi-

schen den Zellen derselben als auch der benachbarten Schichten gibt es zahlreiche, oft punktförmige Verbindungen. In diesen Bereichen ist das Zytoplasma ziemlich dicht, die Entfernung zwischen den Zellmembranen beträgt etwa 8,5 nm. Typische Desmosomen sind selten. Die beiden inneren, an das Endoneurium grenzenden Zellschichten der Wurzelhülle besitzen eine regelmäßige Anordnung und sind klarer und dünner. Ihr wichtigstes Merkmal sind die zahlreichen pinozytotischen Bläschen, der meist enge Zellkontakt und die nahezu einheitliche Entfernung von 12 nm zwischen den Zellmembranen. Die Menge der Bindegewebsfasern zwischen den Zellschichten der Wurzelscheide variiert, etwas amorphes Material ist vorhanden. Die Kollagenfasern besitzen einen Durchmesser von 20 bis 180 nm. Die Bindegewebsfasern des Endoneuriums besitzen eine enge Bindung zur Wurzelscheide, sind aber durch eine Basalmembran stets von ihr getrennt. Das Endoneurium ist nicht unterscheidbar von dem der peripheren Nerven und seine Kollagenfasern haben eine Dicke von 26 bis 36 nm. Die Wurzelscheide scheint in allen untersuchten Bereichen des Rückenmarks eine ähnliche Struktur zu zeigen. HALLER und LOW untersuchten die zervikalen, die thorakalen, die lumbalen und die sakralen Segmente der Ratte und anderer Labortiere und fanden dabei keine wesentlichen Unterschiede. Die proximalen, mittleren und distalen Abschnitte der Nervenwurzeln in einem Tier glichen sich annähernd. Bezüglich der Untersuchungen verschiedener Tierarten wurden auch dort keine grundlegenden Unterschiede festgestellt.
An der spinalen Nervenwurzeln der Maus fanden SEITZ et al. (1981) eine solche Hülle, die nur von einer einzi-

gen Zellschicht gebildet war. Diese wurde als eine Ausdehnung der Pia mater betrachtet, wie es bei der Ratte auch schon gesehen worden ist (HALLER und LOW, HALLER et al. 1972). Im Gegensatz zu den Befunden bei der Ratte (HIMANGO und LOW 1971) und bei Meerschweinchen (WAGGENER und BEGGS 1967) fanden sich bei der Maus weder ein Recessus lateralis wie bei der Ratte (HIMANGO und LOW) noch ein Foramen interradiculare wie beim Hund (MALLOY und LOW 1974).

HALLER und LOW haben bei ihren Untersuchungen auch strukturelle Unterschiede beschrieben, zu denen Variationen der Anzahl von wurzelscheidebildenden Zellschichten gehören. Demnach bilden die Zellen der inneren Schichten der Wurzelscheide Fortsätze, die bis in das Endoneurium eindringen und durch eine Basalmembran von diesem getrennt sind; ferner zeigen die Basalmembranen Unterschiede in ihrer Ausdehnung und Gliederung. Sie können u.a. eine ununterbrochene Verbindung mit einigen, meist inneren Zellschichten eingehen, was als wichtiges Merkmal für die Differenzierung von Perineurium und der Innenschicht der Wurzelhülle gewertet wird.

Nach BURKEL (1967) ähnelt die Innenschicht dem Perineurium und geht fast kontinuierlich in dieses über. Der Unterschied wird deutlich in der Topographie ihrer Basalmembranen. Diese sind unterbrochen oder fehlen an der Nervenwurzel, ausgenommen die Basalmembran, die die unterste Zelle der Wurzelscheide vom Endoneurium trennt. Die Ähnlichkeiten zwischen Perineurium und der Innenschicht der Wurzelscheide beziehen sich auf die abgeflachten Zytoplasmaschichten und ihren engen Kontakt

("close contact") über beträchtliche Entfernungen hin. Der Interzellularspalt ähnelt hier der Fascia adhaerens und beträgt 12 nm (BRIGHTMAN 1965).
BENKE und RÖHLICH untersuchten die dorsalen Spinalwurzeln bei der Ratte in der Weise, daß sowohl die äußere (dorsale) Seite als auch die innere (ventrale) Seite der dorsalen Wurzel jeweils für sich untersucht wurden.Die Strukturverhältnisse an der äußeren (dorsalen) Seite werden dabei folgendermaßen beschrieben: Der proximale Abschnitt der dorsalen Wurzel wird sowohl von der Dura als auch von der Arachnoidea begleitet; letztere geht proximal des Ganglions ohne Unterbrechung in das Perineurium über. In proximodistaler Richtung zeigt die Hülle zunächst noch einen arachnoideaartigen Aufbau, d.h. dicke, eng nebeneinander liegende Zellen, die ab und zu einen freien Platz für ein umschriebenes Faserbündel freilassen. Unter der Arachnoidea findet sich hier eine mehr oder weniger zusammenhängende Zellschicht, an deren Oberfläche vereinzelt eine Basalmembran sichtbar ist. Daraus wird gefolgert, daß die unmittelbar unter der Arachnoidea liegenden Zellschichten einigen Perineuriumschichten entsprechen, was wiederum bedeutet, daß die Zellschichten der Arachnoidea stufenweise in die des Perineuriums übergehen. Distal von der Übergangsstelle sind die Basalmembranen auf der Oberfläche der einzelnen Zellschichten deutlich sichtbar, was eindeutig für die ab hier vorhandene typische Struktur des Perineuriums sprechen würde.

Die Strukturverhältnisse an der inneren (ventralen) Sei-

te der dorsalen Wurzel stellt sich nach BENKE und RÖHLICH etwas komplizierter dar: Im proximalen, dem Rückenmark anliegenden Teil wurde keine Arachnoidea, sondern nur Pia mater beobachtet. Etwas weiter distal sieht man eine dünne, nicht genau definierbare, sowohl dem Perineurium als auch der Arachnoidea ähnliche Schicht. Nachdem sich die Wurzel vom Rückenmark abhebt, teilt sich diese Schicht in zwei Lamellen. Die eine davon setzt sich direkt in die Arachnoidea fort und hüllt die Medulla spinalis auch im Gebiet zwichen den beiden Wurzeln ein. Die zweite liegt der dorsalen Wurzel auf und begleitet diese weiter. Sie besteht aus zwei oder drei Zellschichten, deren Aufbau Perineuriumcharakter aufweist. Vor Eintritt in das Spinalganglion werden aus den zwei bis drei Zellschichten fünf bis sechs; aber diese behalten auch hier noch eine etwas unregelmäßige Struktur.
HALLER und LOW definieren die Wurzelscheide folgendermaßen: Dort, wo Zellhüllen der Nervenwurzel den Subarachnoidalraum durchqueren, werden sie als "Wurzelscheide" bezeichnet. Ihre äußeren Schichten sind dem Pia-Arachnoidea-Mischgewebe gleichzusetzen, die inneren Schichten dem des Perineuriums, genauer gesagt, sie stellen eine Modifikation des Perineuriums dar (HALLER und LOW). In Richtung auf das Rückenmark besitzt die Wurzelscheide sowohl am dorsolateralen als auch am ventromedialen Teil der Wurzel ein offenes Ende. Dort kommuniziert der endoneurale mit dem pialen Gewebsraum. Diese morphologischen Verhältnisse wurden bei allen eingehend untersuchten Nervenzellen vorgefunden.

Die Wurzelhülle wird bei CLOYD und LOW (1974), - sie untersuchten junge Hunde-, als diejenige Hülle beschrieben, die die Wurzelfasern spinaler Nerven umgibt, während diese den Subarachnoidalraum durchqueren. Die oberflächliche Schicht dieser Hülle ist mit der oberflächlichen pialen Schicht verbunden und stellt soweit einen Teil der Leptomeningen dar. Einige der kleinen Nerven besitzen oft rauhere Wurzelscheiden als die meisten großen Nervenwurzeln. Diese bestehen aus sich überlappenden, sehr flachen Zellen, die kompakter sind als die der Pia mater, schwer auszumachende Zellränder besitzen und gelegentlich durch Mikrovilli begrenzt sind. Mikrovilli werden an der Wurzelhülle spärlicher vorgefunden als an der Pia mater; sie sind meistens kurz und werden in der Nähe freier Zellen zahlreicher. Die Wurzelhülle zeigt meist nur kleine Fenestrationen, die oft nur eine schmächtige Trennung zwischen benachbarten Zellen repräsentieren. Die darunterliegende Schicht wird durch diese Fenestrationen sichtbar. Bindegewebsfasern werden kaum beobachtet. Das zentrale Ende der Nervenwurzel, dort, wo sie das Rückenmark berührt, ist nach LOW (1976) besonders interessant. Hier verlaufen die äußeren Schichten der Wurzelhülle in der Pia mater weiter, während die inneren Schichten, die der Ausdehnung von tiefen Perineuriumlagen entsprechen, wie ein Ärmel oder ein Rohr offen enden.

2.2.4. Distaler Teil der Wurzelscheide und Subarachnoidaler Winkel

Im Subarachnoidalwinkel der spinalen Nervenwurzel gehen die Bindegewebshüllen des Zentralnervensystems in die Hüllen der peripheren Nerven über (JÄCKEL 1983). Der distale Teil der Wurzelscheide ist deshalb besonders interessant. In diesem Bereich bildet die Arachnoidea ein vielschichtiges, lockeres Gewebe von Zellen, zwischen deren weiten, licht- und elektronenmikroskopisch leeren Interzellularräumen nur einige Faserelemente gesehen werden. Man bekommt den Eindruck eines lockeren, schwammartigen Gewebes. Auch hier ist die Arachnoidea durch ein kontinuierliches Mesothel gegen den Subarachnoidalraum abgegrenzt (FIEDLER und DROMMER 1976). Der Subarachnoidalwinkel markiert die laterale Grenze des Subarachnoidalraumes (ELMAN); in diesem Gebiet geht die äußerste Nervenhülle, das Epineurium, in die Dura mater über. Das Endoneurium setzt sich ohne Unterbrechung bis in das Zentralnervensystem fort, wo es an die Basalmembran des Rückenmarks grenzt (TARLOW). Das Perineurium verändert sich jedoch radikal, nachdem es den Subarachnoidalraum erreicht (McGABE und LOW). Es ist schwierig, seine Schichten genau zu verfolgen, aber es scheint so, als würden sich die äußeren Perineuriumschichten von den inneren trennen und sich zwischen die Dura mater und Arachnoidea ausdehnen. Diese Zellschicht wird von der Arachnoidea

mittels einer extrazellulären dichten Linie von irregulärer Dichte getrennt (HIMANGO und LOW; MORSE und LOW 1972). Das Zytoplasma der Zellen ist hier besonders klar und so deutlich, daß es in der Lichtmikroskopie oft als ein Raum falsch gedeutet und deshalb als "subduraler Raum" bezeichnet wurde. Im Elektronenmikroskop soll sich aber kein freier Raum darstellen (LOW).
Bei den von ANDRES (1966; 1967 a und b) durchgeführten Untersuchungen konnte kein virtuelles Cavum subdurale nachgewiesen, aber ein sich an dieser Stelle ausbreitendes solides Mesothel beschrieben werden. Dieses zwischen der Arachnoidea und der Dura mater liegende Mesothel hat ANDRES als "subdurales Neurothel" bezeichnet. Es kann bei den einzelnen Tierarten unterschiedliche Stärken besitzen.
Die verschiedenen Bezeichnungen des subduralen Neurothels zitieren RASCOL und IZARD (1976) als "subdurales Mesothel" (PEASE und SCHULZ 1958; ANDERSON 1969; TRIPATHY 1973), als "subdurale Zellschichten" bzw. "subdural cellular layer" (AKASHI 1972), als "dura-arachnoidal interface (WAGGENER und BEGGS 1967), als "intermediate cellular layer" (HIMANGO und LOW) und als "external layer of the arachnoidea" (LOPEZ und MAIR 1974).
Bei seinen Untersuchungen an erwachsenen Katzen und Hunden im Bereich der Meninx spinalis fand ANDRES (1967 a u. b) fünf bis zehn übereinanderliegende und miteinander verzahnte Zytoplasmaschichten. Deren Zellen besitzen flache, untereinander vielfach

verschachtelte Ausläufer. Die Interzellularspalten sind etwa 10 bis 15 nm weit; sie enthalten streckenweise eine fein filamentäre Substanz und werden von ausgeprägten Desmosomen, weniger von anderen junctions überbrückt. Mikropinozytotische Stachelsaummembranen finden sich relativ zahlreich und der dicht strukturierte Interzellularspalt stellt das Kriterium für die Abgrenzung des subduralen Neurothels von der Arachnoidea dar. An der Außenseite grenzen die Neurothelzellen direkt an die Dura mater. Die Feinstruktur des subduralen Neurothels läßt sich nur unter optimalen Fixierungs-, Präparations- und Untersuchungsmethoden darstellen. Wenn solche nicht erfüllt sind, kann im Bereich des Neurothels durch Zerreißung der zarten Zellformation ein artifizieller Spaltraum entstehen, was die (falsche!) Annahme eines Subduralraumes zur Folge haben kann. So wurde schon bei CLARA der Subduralraum als postmortale Veränderung angesehen. Auch KLIKA (1967) glaubte, der Subduralraum entstehe künstlich und wenn er vorhanden sei, sei er nicht kontinuierlich.

In der Randzone des Nervenwurzelaustritts durch die Dura mater bekommt das subdurale Neurothel eine retikuläre Auflockerung. In diesem Bereich gibt es eine direkte Verbindung mittels Zellbrücken zum perineuralen Neurothel, d.h. am Austritt der Nervenwurzel geht das subdurale Neurothel in die Mesothelschichten des Perineuriums über(ANDRES 1966,1967 a u.b).FIEDLER und DROMMER haben die retikuläre Auflockerung beim Schwein als "Neurothelprotrusionen" angesehen. Sie sahen einen

schmalen Interzellularspalt mit Desmosomen zwischen den Zellen des subduralen Neurothels. Dort, wo es keinen Interzellularspalt gab, haben sie Nervenverbindungen beobachtet.
RASCOL und IZARD hielten das Fehlen extrazellulärer Fasern sowie der Basalmembranen an der Grenze zur Dura mater für das Neurothel charakteristisch. Dieser Interpretation schließen sich SCHACHENMAYR und FRIEDE (1978) an, nach deren Meinung es in der äußeren Zone, also der Duragrenze, wenige Zellverbindungen und keine tight junctions gibt. Dagegen soll die innere Zone viele Zellverbindungen, wie tight junctions, gap junctions und Desmosomen, besitzen.

2.2.5. Das Perineurium

Die Frage der Relation zwischen Perineurium und den Meningen ist wesentlich komplizierter als bei den anderen Nervenhüllen, dem Endoneurium und dem Epineurium. Bislang gibt es auf diese Frage verschiedene widersprüchliche Antworten. So hatten SHANTA und BOURNE (1962 a u. b, 1964, 1966, 1968) versucht, einen Überblick über die Schwierigkeiten dieser Beziehungen in der Übergangszone zwischen dem peripheren und zentralen Nervensystem zu geben. Sie untersuchten das Perineurium peripherer Nerven an verschiedenen Säugetieren und Fröschen und kamen zu der Auffassung, daß das Perineurium zwei verschiedene Bestandteile besitzt. Der äußere Teil bildet eine Fibroblasten enthaltende Bindegewebsschicht, die die Nervenbündel umgibt. Der unter dieser äußeren Bindegewebsschicht liegende innere Teil des Perineuriums wurde als "perineurales Epithel" bezeichnet. Die Untersucher glaubten überdies beobachtet zu haben, daß diese Hülle aus flachen, geschichteten, schuppenartigen, epithelialen Zellen mit gezackten Rändern besteht und im Bereich der Nervenwurzeln unmittelbar unter dem epineuralen Bindegewebe liegt. Im peripheren Nerven fanden sie sie unter dem perineuralen Bindegewebe erst nach vollständiger Entfernung des letzteren. Sie soll die einzelnen Nervenfaserbündel vollständig umgeben und als sogenannte "perineurale epitheliale Septen" die

Faserbündel unterteilen. Nach SHANTHA und BOURNE besitzt die Hülle keine wesentlichen Bindegewebsanteile, d.h. nur einige wenige Kollagenfasern, jedoch ein reiches Netzwerk von mehreren Kapillarplexus. Sie soll bei den Säugetieren vielschichtig, bei Fröschen nur zweischichtig sein. Die Zellen des perineuralen Epithels werden als in Form, Zellgrenzen und Kerncharakter identisch mit denen der Pia mater und Arachnoidea beschrieben. An den Nervenwurzeln soll es eine ununterbrochene Verbindung zwischen der Pia mater - Arachnoidea-Membran und dem perineuralen Epithelium geben, sowie eine Kontinuität zwischen der Dura mater und den äußeren Schichten des Perineuriums und Epineuriums.
SHANTHA und BOURNE haben somit eine Verlängerung der Leptomeningen des Zentralnervensystems in das periphere Nervensystem postuliert und ein anderes Verständnis des perineuralen Epitheliums als falsch abgelehnt. Diese These unterschied sich allerdings von der Beschreibung der Bindegewebshüllen durch andere Autoren und führte zu einer ziemlichen Verwirrung hinsichtlich der Morphologie der Nervenwurzelhüllen. Durch spätere Untersuchungen ist sie schließlich widerlegt worden.
Bei PETERS,PALAY und WEBSTER (1976) stellt sich das Perineurium als eine Bindegewebshülle dar, die unter dem Epineurium liegt und jedes Nervenfaserbündel zirkulär umgibt.Besonderes Merkmal seien die abgeflachten oder squamösen Zellen, die in mehreren Schichten, deren Zahl variiert, liegen. Zwischen den Zellschich-

ten sollen longitudinal verlaufende Kollagenfasern, teilweise auch einige elastische Fasern liegen. Von anderen Untersuchern wurden Elastin und Mikrofibrillen nicht gesehen (THOMAS 1963; GAMBLE 1964; THOMAS und JONES 1967).
An den perineuralen Zellen wurden doppelseitige, oft auffallende Basalmembranen und teilweise Hemidesmosomen gefunden, wobei zwischen den Schichten die Basalmembranen spärlich ausgebildet sein oder ganz fehlen sollen (THOMAS und JONES; BURKEL; LIEBERMANN 1968).
Als wichtigstes Merkmal werden die enge Apposition zwischen den Zellen einer Schicht und ihre oft "schwalbenschwanzartigen" Verbindungen oder Verzahnungen gewertet, zumal an solchen Stellen enge Verbindungen, "close contacts", "tight junctions" oder "zonulae occludentes" vorhanden sind. Einfache "zonulae" wurden auch zwischen benachbarten Schichten vorgefunden, wenn ihre Zellen sehr dicht aneinander liegen (THOMAS; BURKEL).
HALLER und LOW meinen, man dürfe die Wurzelscheide nicht fälschlicherweise als ein Epithel verstehen, gleichwohl sie zahlreiche flache Schichten und eine kontinuierliche Grenzmembran entlang ihrer basalen Fläche besitze. Auch habe sie nicht den Aufbau, den das Epithel in seiner Feinstruktur charakterisiert. Echtes Epithel beinhalte nämlich drei strukturell isolierte Räume und besondere Einrichtungen: Ein Raum sei jenseits der Oberfläche, einer werde durch den Interzellulärspalt verkörpert und ein dritter sei der darunterliegende Bindegewebsraum. Die Außenseite sei

durch junctions, besonders durch zonulae occludentes getrennt. Die Grenzmembran an der Basis trennt den Interzellulärspalt vom Bindegewebsraum (FARQUHAR und PALADE 1966). An der Wurzelscheide ist - im Vergleich mit dem Epithel- nun aber der Subarachnoidalraum der "Außenraum", ohne jedoch vom Interzellularspalt hermetisch abgeriegelt zu sein, sondern frei mit diesem kommunizierend. Im Interzellularspalt der Wurzelscheide kommen außerdem Bindegewebsanteile vor, eine Tatsache, der man im Epithel nicht begegnet.
FREDERICKSON und HALLER (1971)verglichen alle untereinander ähnlichen Gewebe des Subarachnoidalraumes und kamen zu dem Resultat, daß letzterer als ein "ausgeräumter" Teil des Bindegewebsraumes zu verstehen ist. Demnach sind auch seine Auskleidungen eher spezialisierte Bindegewebstypen, denn epithelische Strukturen (LOW 1964). Die Wurzelscheide stellt nach FREDERICKSON und HALLER eine dieser auskleidenden Gewebe dar und sollte deshalb dementsprechend klassifiziert werden. Die Schwierigkeit liege aber darin, daß sie mit keinem bekannten Gewebeaufbautyp vergleichbar sei und keinen einheitlichen histologischen Aufbau zeige.

2.2.6. Unterschiede zwischen der dorsalen und ventralen Nervenwurzel

Obwohl sich die Hüllen der dorsalen und ventralen Nervenwurzeln im wesentlichen gleichen sollen, wird doch auf einige Unterschiede hingewiesen. So haben MALLOY und LOW die dorsalen und ventralen Wurzeln des ersten Halsnerven vom Hund untersucht und folgendes gefunden: Dort, wo die Wurzeln den Subarachnoidalraum verlassen, stellt sich die dorsale Wurzel als eine Einheit ohne individuelle Wurzelfaser dar. Dagegen besteht die ventrale Wurzel oft aus Wurzelfasern, die sich nicht zu einer einzigen Struktur vereinigen. Erst nachdem die Wurzel durch die dura mater getreten ist, vollzieht sich die Vereinigung. In der Halsgegend und der oberen Brustgegend fanden sie dagegen, daß die dorsalen und ventralen Wurzeln nach den Ausgängen von verschiedenen Wurzelfasern gebildet werden.

KRÜCKE (1974) beschreibt den Subarachnoidalwinkel der dorsalen und ventralen Wurzel wie folgt: Bei der ventralen Wurzel bestehen zwischen den Arachnoidalzellen oder dem "Arachnothel", wie er sie nennt, Zellkontakte zur Wurzelhülle und zum Perineurium. Dadurch wird der Subarachnoidalraum abgeschlossen. An der dorsalen Wurzel wird durch in die Wurzelscheide übergehenden Arachnoidalzellen eine Art blind endender Sack ge-

bildet. Die Arachnoidalzellen bilden ebenfalls Zellkontakte wie an der ventralen Wurzel. Ein Teil der Perineuralzellen geht auf die Wurzelscheide über, ein anderer verliert die Basalmembran, nimmt die Ähnlichkeit von Fibroblasten an und schiebt sich zwischen die Arachnoidea und die Dura mater.

McGABE und LOW sind davon ausgegangen, daß im Subarachnoidalwinkel das Epineurium in die Dura mater übergeht. In diesem Bereich haben sie beobachtet, daß sich das Perineurium - durch die Basalmembran und durch die typische laminare Struktur gut identifizierbar - weit in die Epineurium-Dura-Fortsetzung ausdehnt. Es verläuft zwischen der Dura und der arachnoidalen Membran an der äußeren Wand des Subarachnoidalraumes. Die meisten Perineuralschichten sollen sich so verhalten, lediglich die innersten von ihnen seien nicht klar zu verfolgen. Der Grund dafür wird in der Unübersichtlichkeit der im Subarachnoidalwinkel vorhandenen Strukturen gesehen. Im übrigen gilt als allgemein akzeptiert, daß das Perineurium in der Nähe des Subarachnoidalwinkels grundsätzlich denselben Aufbau wie im Bereich des Spinalganglions besitzt, wobei lediglich die Anzahl seiner Schichten geringer sein soll. Die Zellen der ventralen Wurzel, die sich nah der arachnoidalen Membran befinden und wahrscheinlich mit dem Perineurium verlaufen, besitzen geringe Dichte und machen einen stark hydrierten Eindruck. Sie liegen dicht aneinander und zeigen einen sehr geringen Abstand zur äußeren arachnoidalen Zellschicht. Sie verlaufen an der äußeren Wand des Subarachnoidalraumes und die meisten

von ihnen besitzen weder eine Basalmembran noch eine laminare Struktur. Somit unterscheiden sie sich grundsätzlich von den Perineuriumzellen der dorsalen Wurzel, die nah am Subarachnoidalwinkel die typische Basalmembran aufweisen. Die erwähnten Strukturunterschiede der dorsalen und ventralen Wurzel sollen jedoch keinen Einfluß auf die Funktion des Perineuriums, eine Diffusionsbarriere zu bilden, haben.

3. LITERATUR ZU DEN RENAUTschen KÖRPERCHEN

3.1. Der Begriff und Lokalisation der RENAUTschen Körperchen

Unter RENAUTschen Körperchen (oder nodules hyalines) versteht man umschriebene, eigenartig gestaltete, zwiebelschalenartig geschichtete, streifenförmige oder spindelige Gebilde, die typische Blasenzellen enthalten und im peripheren, zerebrospinalen Nervensystem zu finden sind. Sie wurden nach dem französischen Wissenschaftler RENAUT benannt, der sie erstmalig bei Pferd und Esel 1881 beschrieben hatte. Aufgrund des Fundortes - zwischen Perineurium und eigentlichem Nervenfaserbündel des peripheren Nerven - bezeichnete er sie als "système hyalin intravaginal" und beschreibt sie sinngemäß folgendermaßen: Das intrafaszikuläre Bindegewebe (heute als Endoneurium bezeichnet) wird an der Seitenwand (=Innenfläche der perineuralen Scheide) mit einer Menge kleiner Aufhängevorrichtungen (Mesos) geknüpft, die teils von isolierten Bündeln, teils von nicht zu Bündeln zusammengefaßten, sehr zarten Bindegewebsfasern - unter denen elastische Fasern völlig fehlen sollen - gebildet werden und die miteinander in Form eines maschigen, räumlich ausgebreiteten Flechtwerks zusammenhängen. Diesem faserigen, teils gebündelten Netzwerke liegen platte Zellen auf; zum Teil aber scheinen auch Zellen in die bindegewebi-

gen Bündel eingelagert. Die endothelartig aufgelagerten Zellen schließen nicht völlig aneinander, sondern zeigen vielfach sternförmige Fortsätze. Der Raum zwischen den Maschen dieses zellfaserigen Netzes ist im fixierten Zustand des Gewebes mit einer geleeartigen Flüßigkeit besonderer Art gefüllt. Diese kann sich in einzelnen Kammern (Logen) des Maschenwerkes als homogene (hyaline) Masse anhäufen, wobei sich das Bindegewebe des Netzwerkes um jede dieser Anhäufungen herum verdichtet und die nach außen folgenden Zellen sich konzentrisch um das innerste Blatt anordnen. Die thelialen Zellen im Inneren solcher Herde (RENAUTschen Körperchen) können anschwellen, blasig werden und sich zum Teil loslösen (=cellules gondronnées).

Die RENAUTschen Körperchen waren gegen Ende des letzten und Anfang dieses Jahrhunderts Gegenstand zahlreicher wissenschaftlicher Untersuchungen. Später gerieten sie jedoch in Vergessenheit und wurden nur in einigen wenigen Arbeiten erwähnt.

LANGHANS (1892) beschrieb Formen von RENAUTschen Körperchen beim Menschen und bei Affen, die an Cachexia thyreopriva oder Kretinismus erkrankt waren. Er erklärte diese Gebilde für pathologisch und klassifizierte sie in folgender Weise: "1. Veränderungen kleiner Bündel; 2. Veränderungen großer Bündel; 3. Lockere Wucherung des Endoneuriums". Auch KOPP (1892) gab eine sehr ausführliche Beschreibung der RENAUTschen Körperchen, die er wie LANGHANS bei der Cachexia thyreopriva gefunden haben will. Beide Autoren sprechen den

Blasenzellen (cellules gondronnées) eine große Bedeutung zu, da diese die Hauptmerkmale der Körperchen seien. KOPP fand in den Nerven von Hunden diese Zellen im gelockerten Endoneurium. In den größeren Nerven seien nie alle Bündel erkrankt, sondern nur einige wenige.
Die Nervenfasern in der Nachbarschaft RENAUTscher Körperchen sollen keine Veränderungen zeigen. TRETJAKOFF (1926) faßt die Untersuchungen von RENAUT wie folgt zusammen: Die RENAUTschen Körperchen kommen in zwei Formen vor, einmal als Knötchen (nodules fibro-hyalins), zum anderen als Stränge (tiges fibro-hyalins de soutènement). Ihren wichtigsten Anteil machen die besonderen Zellen (cellules gondronnées) aus, die im Bindegewebe des Perineuriums auch unabhängig von den Körperchen existieren und nach RENAUT eine wichtige Rolle bei deren Bildung spielen. Die Knötchen entstehen auf den Nervenbündeln dort, wo entsprechende mechanische Bedingungen vorhanden sind. Dieselben Bedingungen für Entstehung und Struktur sollen für die langen spindelförmigen Stränge in Betracht kommen. Beide Formen wurden, außer bei Pferd und Esel, auch bei Löwe und Rind gefunden. Das Knötchen besteht aus einer angeblich dem Muzin entsprechenden Flüßigkeit, in der die cellules gondronnées liegen. Bindegewebige Lamellen umgeben diese Zellen und bilden zusammen mit ihnen und der muzinartigen Masse einen elastischen Puffer.
TRETJAKOFF meinte, die RENAUT-Körper seien eine häufige Erscheinung in der Struktur der Nerven beim Menschen und bei Tieren. Er selbst hatte diese bei Rind, Pferd, Hund, Schwein, Schaf, Kaninchen, Affe und bei der Rat-

te untersucht. Der wichtigste Bestandteil des Körperchens sei das "chondroide" basophile Gewebe oder wenigstens seine "chondroide" Substanz; die übrigen Bestandteile machten basophile Fädchen und eine begrenzte Zahl von Kollagenfasern aus. Die Grenze zwischen dem chondroiden Gewebe des subperineuralen Raumes und dem Endoneurium sei nicht immer glatt, sondern öfters wellenartig konfiguriert, so daß halbmondförmige Vorsprünge des chondroiden Gewebes in das Endoneurium hineinragen. An der Grenze des chondroiden Gewebes und des Endoneuriums seien Blasenzellen äußerst spärlich vorhanden. Die RENAUTschen Körperchen seien ein ganz normaler Bestandteil der Nervenstämme und dort sichtbar, wo die Nervenabschnitte einem übermäßigen Druck ausgesetzt seien.

SANDVOSS (1939) kam zu dem Schluß, die Verteilung der RENAUTschen Körperchen in den menschlichen Nerven sei sehr ungleichmäßig. Im Nervus cutaneus femoris lateralis fand er sie verhältnismäßig häufig, dagegen konnte er keine beim Neugeborenen oder Säugling finden. Seiner Meinung nach sind die RENAUTschen Körperchen pathologische Erscheinungen. Vorgänge wie Ausfällung, Loslösung von Zellen aus dem Verband unter Annehmen verschiedenster, z.T. blasiger Formen und das Auftreten fettiger Tropfen in den Körpern solcher Zellen lasse keine andere Deutung zu.
SCHEIBNER (1939) hat durch seine Untersuchungen bestätigt, daß es keine gleichmäßige Verbreitung der verschiedenen Veränderungen am "système hyalin intravaginal" im menschlichen Körper gibt. Seiner Meinung nach

ist es nicht erwiesen, daß die RENAUT-Körper eine krankhafte Erscheinung darstellen, da sie beim Neugeborenen nicht gefunden wurden. Die sich anschließende Frage, ob das Vorkommen der RENAUTschen Körperchen vom (höheren!) Lebensalter abhängig sei, bleibe aber genauso unbeantwortet wie die nach den Ursachen ihrer Entstehung. Mit Sicherheit sei jedoch eine Entzündung als Ursache ausgeschlossen.
Auch ADLER (1940) untersuchte den Nervus cutaneus femoris lateralis bei verschiedenen menschlichen Altersgruppen. Er kam zu folgendem Ergebnis: Bei Kindern und Jugendlichen sind RENAUT-Körper ungleich seltener als bei Erwachsenen aufzufinden; sie besitzen einen anderen histologischen Aufbau als bei adulten, alternden und alten Individuen. Die aufgeworfenen Fragen, ob alte Menschen häufiger betroffen seien als reife und alternde, oder ob die Zahl der RENAUTschen Körperchen bei Befallenen mit höherem Alter zunehme, konnte auch er nicht verbindlich beantworten, doch hielt er diese Gebilde für vermutlich nicht normal.
KRÜCKE (1955) nahm wie LANGHANS und KOPP an, daß sich RENAUTsche Körperchen im Zusammenhang mit der mucoiden Degeneration zeigen, bei der innerhalb der mucoiden Substanzen entsprechende Blasenzellen auch ohne konzentrische Lamellenbildung, wie bei VANLAIR (1894) schon beschrieben, vorkommen.
Neuere Studien von ASBURY (1973) am Nervus suralis des Menschen machen deutlich, daß die Bedeutung der RENAUTschen Körperchen immer noch ungeklärt ist, weil sie sowohl in Nerven ohne jegliche strukturelle Ab-

normität, als auch in neuropathischen Krankheitsphasen beobachtet werden. ASBURY greift diese "vergessene endoneurale Struktur", wie er sie bezeichnet, wieder auf, weil sie seiner Meinung nach seit 1940 kaum mehr erwähnt und bei verschiedenen Autoren mißinterpretiert wurde. Er beschreibt sie wie folgt: Lichtmikroskopisch zeigen die RENAUT-Körper zylindrische Gestalt und hyalines Aussehen mit einer locker strukturierten, wirbeligen zellspärlichen Beschaffenheit. Ihre Größe bewegt sich im Querschnitt zwischen 80 - 130 µm, ihre Längenausdehnung aber kann viele hundert µm betragen, um auf eine runde bis spitze Weise zu enden. Sie zeigen nahezu ausschließlich subperineurale Lokalisation und die Tendenz eher ins nebenliegende Nervenfaserbündel zu invaginieren, als eine äußerliche Ausbuchtung der Perineuralscheide bzw. des Epineuriums zu bilden. Elektronenmikroskopisch fand er in den RENAUT-Körperchen locker angeordnete, willkürlich orientierte Kollagenfasern, die mit wechselnden Mengen einer amorphen Substanz und feinem fibrillären Material vermischt sind. Die meisten in den Körpern gefundenen Zellen sind aufgrund der Art ihrer zytoplasmatischen Fortsätze und der fehlenden (!) Basalmembran als Fibroblasten zu identifizieren. In ihrem Zytoplasma finden sich Ribosomen, Glykogen, Granula, pinozytotische Vesikel, feine Fibrillen und nahe am Kern einige Mitochondrien und Zisteren des endoplasmatischen Retikulum. Gelegentlich werden allerdings auch Zellen gefunden, die teilweise vom Basalmembran eingeschlossen sind. Dies führte ASBURY zu dem Schluß, manche Zellen seien perineura-

ler oder perizytärer Herkunft. Weiter postulierte ASBURY: Die RENAUT-Körper kommen in sonst normalen, gesunden Individuen vor, nur bei Neugeborenen sowie Embryonen seien sie nicht zu finden. Bei Nervensträngen, die unter normalen Bedingungen einem Druck ausgesetzt sind, werden die Körper häufig beobachtet, ebenso im Zusammenhang mit verschiedenen Neuropathien. Ihre Spezifität für irgendwelche Krankheiten sei unklar, Standardcharakteristikum der Körper sei der hohe Gehalt an feinen Fibrillen.
LUDIN und TACKMANN (1984) erwähnen in ihrem Buch die RENAUT-Körper nur kurz, wobei sie sich im wesentlichen auf ASBURY berufen. Diese Gebilde seien zellarme, länglich-runde Strukturen mit einem Durchmesser von 100 - 500 µm und sollen meist an der Innenseite des Perineuriums liegen.

3.2. Thesen zur Bedeutung der RENAUTschen Körperchen

Die RENAUTschen Körperchen konnten hinsichtlich ihrer Entstehung, ihrer biologischen Bedeutung und ihrer pathologischen Signifikanz bis heute nicht eindeutig definiert werden. Die verschiedenen Auffassungen der Wissenschaftler lassen sich nach SCHEIBNER im wesentlichen in vier Gruppen einteilen. Für jede Gruppe seien als Beispiele einige Untersucher namentlich genannt.

Die e r s t e Gruppe bezeichnet die Funde als etwas Natürliches; ihrer Meinung nach wurden diese Gebilde von der Natur als Schutz gegen eine Druckwirkung geschaffen. Diese mechanistische Theorie wurde erstmals von RENAUT (1881) vertreten. Ihm haben sich später SCHAFFER (1911) und TRETJAKOFF vorbehaltlos angeschlossen.

Auch die z w e i t e hier zu nennende Gruppe ist der Meinung, daß die RENAUTschen Körperchen als Folge von Druckwirkungen entstehen; sie hält sie jedoch für eindeutig pathologisch. Unter anderen vertraten diese Meinung vor allem VANLAIR, RACHMANINOFF (1892) und TRZEBINSKI (1910).

Die d r i t t e Gruppe hält nicht Druckauswirkungen für die Ursache der Bildung der RENAUTschen Körperchen, bezeichnet die Funde aber als pathologisch. Hierzu gehören besonders LANGHANS, KOPP, OTT (1894)

und FREIFELD (1928). Dieser Gruppe ist wohl auch ADLER zuzuordnen, obwohl er die Ursache der Entstehung der RENAUTschen Körperchen als vorläufig ungeklärt und durch gestaltliche Untersuchungen allein als schwer erklärbar ansieht.

Die v i e r t e Gruppe schließlich umfaßt jene Wissenschaftler, die weder zu Ätiologie noch zu Pathogenese Stellung beziehen und somit diese Frage offenlassen, wie WEISS (1894), SCHULTZE (1892) und PICK (1901).

SCHEIBNER führt ebenfalls eine Reihe von Untersuchern auf, die sich zwar mit den RENAUTschen Körperchen befaßt haben, auf die Frage ihrer Entstehung jedoch nicht näher eingingen. Dazu zählen RUMP (1880), WESTPHAL (1885), NONNE (1891), FREUND (1899) und EIKICHI-OKADA (1903).

Auch die neueren und neuesten Arbeiten zum Thema brachten noch keine befriedigende Antwort. So behauptet KRÜCKE (1955), die RENAUTschen Körperchen seien weder für eine bestimmte Krankheit charakteristisch noch würden sie erwiesenermaßen eine physiologische Bedeutung besitzen. Ihr gehäuftes Auftreten könne man als pathologisch ansprechen.

DICK et al. (1972) machen darauf aufmerksam, daß die RENAUTschen Körperchen in der Vergangenheit oft als Bereiche von Nerveninfarkten falsch diagnostiziert wurden, und ASBURY kommt letztlich nur zu der Feststellung, die RENAUTschen Körperchen seien nicht spezifisch für irgendeinen Krankheitszustand und deshalb sei auch unklar, ob sie überhaupt eine Abnormi-

tät darstellten. Die Gebilde seien für Neuropathologen nur insoweit bedeutsam, als sie sie diagnostizieren können müssen, um ihnen keine unangemessene Bedeutung zuzuschreiben. Er bezieht sich dabei auf verschiedentliche falsche Interpretationen, so etwa auf die in Arbeiten von WOLTMAN und WILDER (1929) und PRINEAS et al. (1971).
Auch LUDIN und TACKMANN halten in ihrem Buch über Neuropathien die pathologische Signifikanz der RENAUT-Körper für noch immer nicht geklärt.

4. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

4.1. Material und Methodik

4.1.1. Material

Das Material wurde aus dem laufenden Sektionsgut des Instituts für Tierpathologie (Lehrstuhl für Allgemeine Pathologie und Neuropathologie) sowie aus der Tierklinik für innere Krankheiten gewonnen. Die Darstellung der untersuchten Hunde erfolgt nach folgendem Schema:

Nr. Tagebuchnummer
NP Lehrstuhl für Allgemeine Pathologie und Neuropathologie
P Lehrstuhl für Allgemeine Pathologie und Pathologische Anatomie
Na Nationale (Rasse, Alter, Geschlecht)
EG Euthanasiegrund

Nr. NP 531/82
Na Deutscher Schäferhund, 11 J., w.
EG beiderseitige Blindheit

Nr. NP 594/83
P 1783/83
Na Cairn Terrier, 10 J., w.
EG Multiple Tumoren

Nr. NP 612/83
P 964/83
Na Bretone, 1 1/4 J., m.
EG Verdacht auf Diabetes insipidus, keine Besserung trotz Therapie

4.1.2. Methodik

Unmittelbar post mortem wurde der Kopf im Foramen occipitale abgesetzt, die Rückenmuskulatur entfernt und die Wirbelbögen mit ihren Dornfortsätzen mittels einer Knochenzange so abgetragen, daß das Rückenmark frei lag. Für die Elektronenmikroskopie und Semidünnschnitt-Technik wurde dann 6,25%iger Glutaraldehyd mittels einer dünnen Nadel subdural injiziert. Nach dieser Primärfixierung meningealer und radikulärer Gewebe (das Rückenmark selbst ist bei dieser Fragestellung nur hinsichtlich seiner pialen Oberfläche interessant) wurden die Einzelsegmente, das zervikale, das thorakale, das lumbale und das sakrale, vorsichtig herauspräpariert und in vorbereitete Gefäße mit 6,25%igem gepufferten Glutaraldehyd gelegt. Nach zweistündiger Fixierung folgte die Feinpräparation der Spinalwurzeln aus den vier Segmenten: Jede dorsale und ventrale Wurzel wurde in drei Teile präpariert, nämlich in einen rückenmarksnahen, mittleren und rückenmarksfernen Teil. Rückenmarksnah ist

der Abschnitt, in welchem die Nervenwurzel unmittelbar aus dem Rückenmark austritt. Die Strecke zwischen dem Austritt der Wurzel aus dem Rückenmark und dem Duraaustritt bildet den mittleren Abschnitt. Der dritte Abschnitt befindet sich im Bereich des Duradurchtrittes. In dieser Weise wurden alle untersuchten Nervenwurzeln, teils mit Hilfe einer Lupe, teils mit bloßem Auge, präpariert, die verschiedenen Abschnitte einer Wurzel in vorbereitete, beschriftete Schälchen mit Waschlösung nach Sörensen gelegt und kühl gestellt. Nach mehreren Stunden erfolgte die zweistündige Nachfixierung in 1%igem Osmiumtetroxid, Dehydrierung in Aceton und Methakrylateinbettung. Letzteres ist in der Weise vorgenommen worden, daß später sowohl Längs- als auch Querschnitte in Semidünnschnitt-Technik mit einem LKB-Mikrotom durchgeführt werden konnten. Die Färbung der Semidünnschnitte erfolgte mit Azurblau (1%). Im Falle der durch eine Neuropathie veränderten Spinalwurzeln wurden die Präparate mittels einer Gegenfärbung zur besseren Darstellung der veränderten Strukturen gefärbt, d.h. zunächst mit Toluidinblau und dann mit Safraninrot. Nur ganz ideale Schnittführungen bzw. -ebenen der Semidünnschnitt-Technik wurden für die Ultradünnschnitt-Technik ausgewählt. Die Ultradünnschnitte wurden mit Uranylacetat und Bleicitrat kontrastiert und der elektronenmikroskopischen Auswertung im institutseigenen ZEISS EM 10 zugeführt.

Für die konventionelle Lichtmikroskopie wurden frisch

herauspräparierte Rückenmarkssegmente in 7%iges Formalin für eine einwöchige Fixierung verbracht. Danach kamen sie für einige Tage in Alkohol, um anschließend in 5 mm dicke Scheiben geschnitten zu werden. Diese durchliefen im Autotechnikon eine aufsteigende Alkohol - Benzol - Reihe und wurden in Paraffin eingebettet. 7 - 10 µm dicke Schnitte wurden mit Hämalaum nach P. MAYER und Eosin gefärbt.

Die Dokumentation sowohl der lichtmikroskopischen als auch der elektronenmikroskopischen Untersuchungsergebnisse erfolgte in üblicher Weise fotografisch (Schwarz/weiß-Technik) mit einem Zeiss-Photomikroskop bzw. dem institutseigenen Elektronenmikroskop EM 10 (ZEISS).

4.2. Besprechung der eigenen Befunde

4.2.1. Untersuchung der spinalen Wurzelscheide

4.2.1.1. Unterschiede der einzelnen Rückenmarkssegmente der dorsalen und ventralen Wurzeln

Bei der Untersuchung der Wurzelscheide spinaler Nerven der vier Rückenmarkssegmente (zervikal, thorakal, lumbal und sakral) wurden diese miteinander verglichen. Man kann feststellen, daß es beim Hund keine besonderen Unterschiede zwischen der Feinstruktur von Wurzelscheiden verschiedener Rückenmarksbereiche gibt. Im zervikalen Bereich sind die Nerven besonders kräftig. Das gleiche gilt für die Nervenwurzeln, die sich in diesem Gebiet gut präparieren lassen; auch ihre Wurzelscheiden lassen sich gut darstellen.
Im distalen lumbalen Bereich nehmen die Nervenwurzeln an Länge zu, weswegen die Aufteilung der Wurzeln in die drei Abschnitte, den proximalen, mittleren und distalen einfacher als bei zervikalen und thorakalen Nervenwurzeln ist.

Die sehr langen sakralen Wurzeln unterscheiden sich von den anderen Segmenten folgendermaßen: Sie liegen ziemlich eng aneinander und somit grenzen die fächerförmig aus dem Rückenmark austretenden Wurzelfäden einer

Wurzel an die der benachbarten Wurzel. Wegen der Gefahr möglicher Verwechslungen benachbarter Wurzeln und ihrer Hüllen muß die Präparation in diesem Bereich besonders sorgfältig erfolgen.
Die dorsalen Wurzeln der spinalen Nerven haben eine größere Länge als die ventralen Wurzeln. Daraus ergibt sich auch eine längere Wurzelscheide der dorsalen Wurzeln.

4.2.1.2. Die Wurzelscheide in ihrem rückenmarksnahen Abschnitt

Nach dem Austritt aus dem Rückenmark durchquert die Wurzel den Subarachnoidalraum. Auf dieser Strecke zeigt der Wurzelabschnitt, der dem Rückenmark am nächsten liegt, den einfachsten Wurzelscheideaufbau. Er besteht aus einer einschichtigen arachnoidalen Zellage. Diese liegt dem endoneuralen Mesenchym direkt auf, wie auf Abb.1 oben zu sehen ist. Diese Arachnoidea-Schicht wird aus dünnen, langgestreckten Zellen mit spärlich vorhandenen pinozytotischen Randvesikeln gebildet. An der dem Nerveninterstitium zugekehrten Seite besitzen die Arachnoidalzellen eine Basalmembran. Die im benachbarten Interstitium liegenden Endoneuralzellen besitzen einen großen, elektronenoptisch dichten Kern und dünne langgestreckte Zellfortsätze wie die Arach-

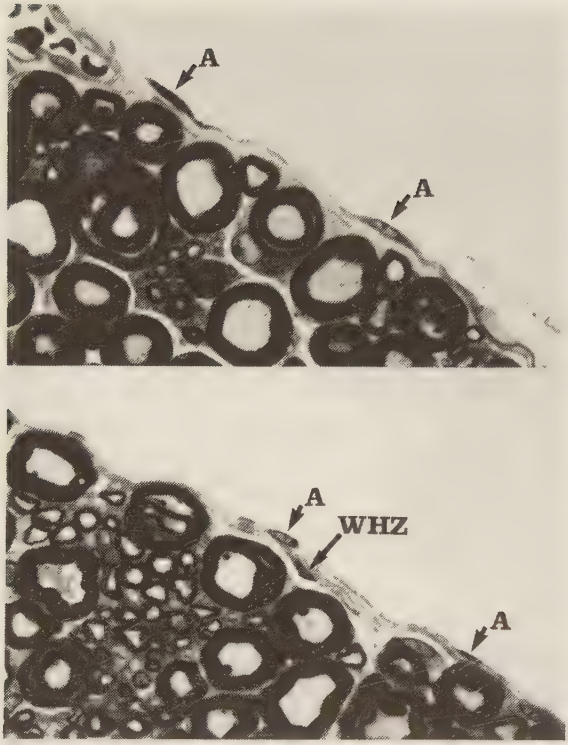


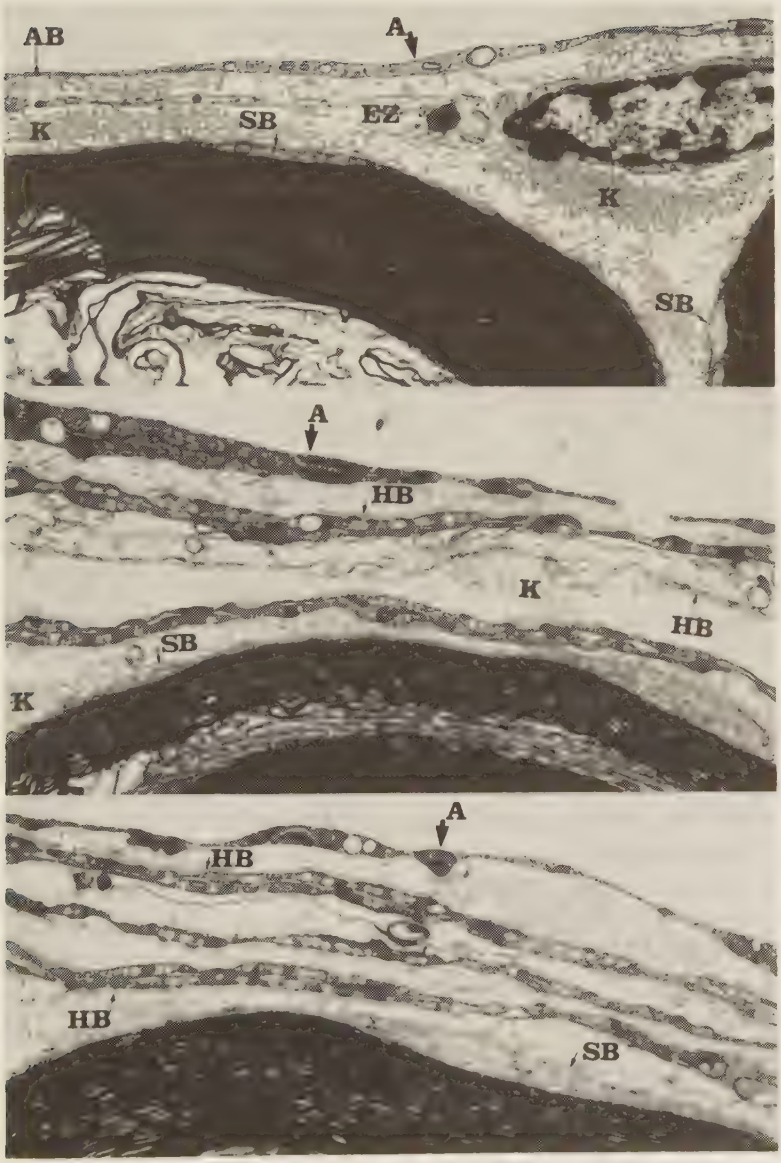
Abb.1 . Lichtmikroskopisches Bild der Nervenwurzelhüllen im Bereich rückenmarksnaher (=innerer) Abschnitte:
oben: Segment L_6, Dorsalwurzel. Hier liegt die einschichtige Arachnoidea (A) unmittelbar dem Nerveninterstitium (Endoneuralmesenchym) auf.
unten: Segment C_8, Dorsalwurzel. Hier befindet sich unter der einschichtigen Arachnoidea (A) eine ebenfalls einschichtige Wurzelhüllzellage (WHZ).
Semidünnschnitte nach Epon® - Einbettung und Azurblau-Färbung. 875 x (Schäferhund, wbl., 11 J.)

Abb. 2 . Elektronenmikroskopisches Bild der Nervenwurzelhüllen im Bereich rückenmarksnaher (=innerer) Abschnitte: A = Arachnoidea, EZ = Endoneuralzelle, K = Kollagenfibrillen, AB = Basalmembran der Arachnoidalzelle, SB = Basalmembran der Schwannzelle, HB = Basalmembran der Hüllzelle

oben: Segment T_2, Dorsalwurzel. Dieser einfachste Bautyp, bei dem die Arachnoidea (A) unmittelbar dem Nerveninterstitium (Endoneurium) aufliegt, entspricht der Situation der Abb. 1 oben.
142000 x (Schäferhund, wbl., 11J.)

Mitte: Segment S_1, Ventralwurzel. Hier liegt die Arachnoidea (A) auf einer mehrschichtigen Wurzelhüllzelllage, die Ähnlichkeit mit Perineuralzellstrukturen aufweist. Die Hüllzellen bilden jeweils paarige Verbände die über gap junctions miteinander verbunden sind. Der sich hierbei ergebende Interzellularspalt ist frei von Basalmembranen und paraplastischen Materialien, während die Außenflächen der Zellen durchgehende Basalmembran (HB) aufweisen . Zwischen Arachnoidea und Wurzelhüllzellen und zwischen den Wurzelhüllzellpaaren finden sich kollagene und elastische Fasern.
22000 x (Bretone, ml., 1 1/4 J.)

unten: Segment S_1, Dorsalwurzel: Dieses Bild entspricht dem mittleren, lediglich die Schichtung der Wurzelzellagen ist noch deutlicher ausgeprägt.
22000 x (Bretone, ml., 1 1/4 J.)


AB
A
K
SB
EZ
K
SB
A
HB
K
HB
SB
K
A
HB
HB
SB

noidalzellen , haben jedoch keine Basalmembran, wie aus der Abb. 2 oben deutlich hervorgeht.
Etwas weiter peripher schiebt sich unter die zunächst einfache einschichtige arachnoidale Zellage eine ebenfalls einschichtige Wurzelhüllzellage. Wie Abb. 1 unten zeigt, sind bei der lichtmikroskopischen Untersuchung die nun von zwei verschiedenen Zelltypen gebildeten Zellagen kaum zu unterscheiden. Die elektronenmikroskopische Untersuchung weist jedoch klar die äußere Schicht als die Arachnoidalzellage, und die dem Endoneurium unmittelbar aufliegende Schicht als die Wurzelhüllzellage auf.

4.2.1.3. Die Wurzelscheide in ihrem mittleren Abschnitt

Mit zunehmender Entfernung vom Rückenmark zeigt die Wurzel eine dickere und kompliziertere Umhüllung. Die Wurzelscheide besitzt eine zunehmende Anzahl von Zellagen (Abb. 2, Mitte und unten).
Auf Abb. 2, Mitte, sieht man die nun vorliegenden Verhältnisse: Außen liegt die Arachnoidea, unter der sich eine mehrschichtige Wurzelhüllzellage befindet. Letztere besteht aus perineuriumähnlichen, dünnen, langgestreckten Zellen, die eine paarige Anordnung aufweisen und durch zahlreiche junctions miteinander verbunden sind. Die Wurzelhüllzellagen sind sowohl gegenüber der Arachnoidea als auch gegenüber dem Endoneurium getrennt. Die paarig angeordneten Hüllzellen besitzen untereinander aber keine Basalmembranen. In ihren engen Inter-

zellularspalten finden sich keine kollagenen oder elastischen Fasern; letztere sind jedoch im Interzellularraum zwischen Arachnoidea und der oberen Wurzelhüllzellage reichlich vorhanden.

Abb. 2, unten, zeigt dieselben Verhältnisse wie im mittleren Bild, allerdings mit dem Unterschied, daß hier eine größere Anzahl von Wurzelhüllzellagen zu finden ist. Diese Zellen unterscheiden sich durch ihren Reichtum an pinozytotischen Vesikeln deutlich von denen der Arachnoidea.

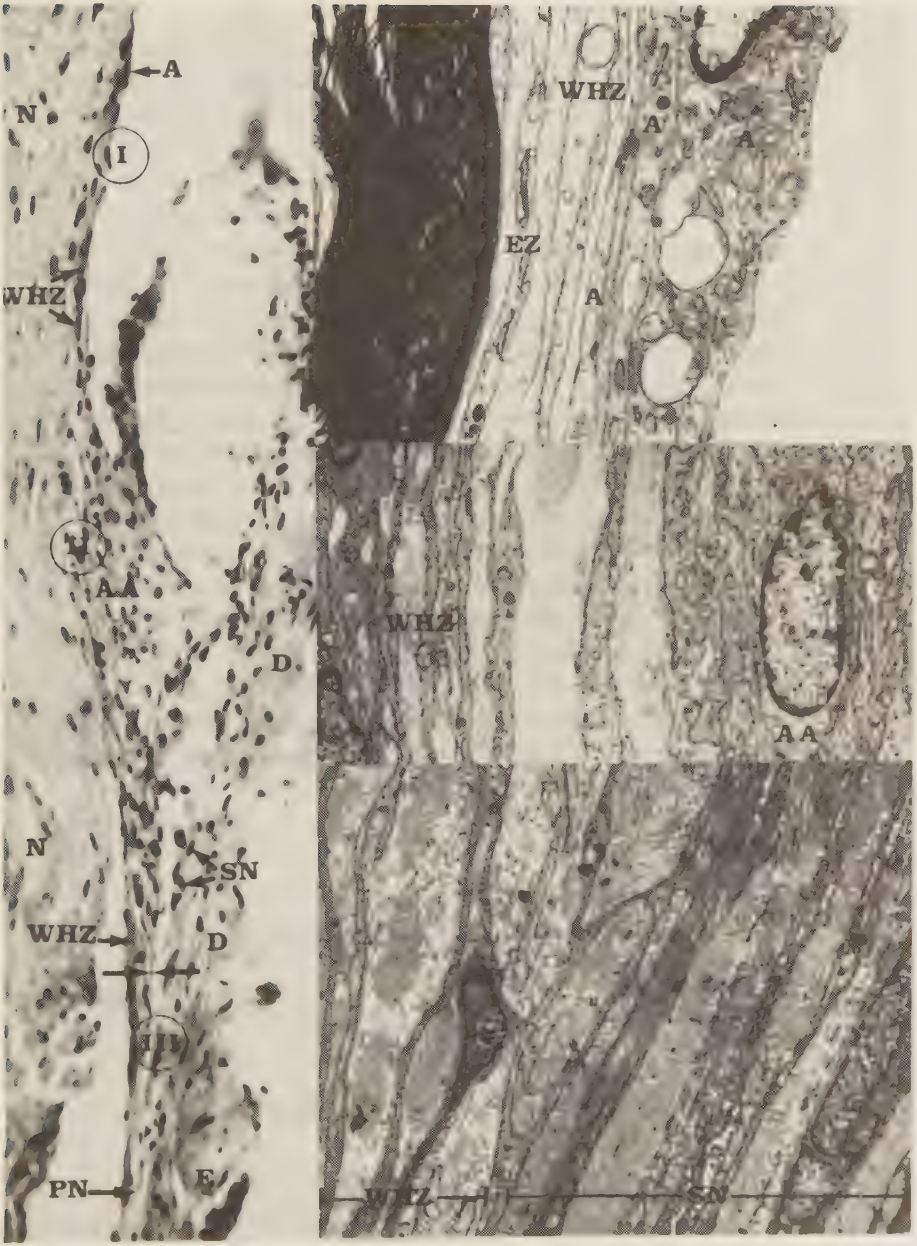
4.2.1.4. Die Wurzelscheide im Bereich des Duradurchtrittes mit Ausbildung des arachnoidalen Winkels

Im distalen Bereich der Spinalwurzel findet man eine sehr komplizierte Situation vor, die sich aus der Existenz des arachnoidalen Winkels ergibt. Eine Übersicht der Wurzelhüllenverhältnisse an der Duradurchtrittsstelle bringt Abb. 3, linkes Bild. Um die komplizierte Feinstruktur besser darstellen zu können, wird dieser Bereich in drei Abschnitte unterteilt. Auf Abb.3, links, sind diese Abschnitte lichtmikroskopisch wiedergegeben.

Der Abschnitt I gibt die Situation vor dem Duradurch-

Abb. 3 . Licht- und elektronenmikroskopisches Bild der Nervenwurzelhüllen im Bereich des Duradurchtrittes (Innenseite) mit Ausbildung eines deutlichen arachnoidalen Winkels. N=Nervenwurzel,A=einschichtige Arachnoidea,AA=Arachnoidalzellen des Winkels,WHZ=Wurzelhüllzellen,SN=subdurales Neurothel,D=Dura mater spinalis,E=Epineurium,EZ=Endoneuralzelle.

links:Lichtmikroskopische Übersicht als Orientierung für die Elektronenmikroskopie.Paraffinschnitt,HE, 350x (Bretone, ml., 1 1/4 J.)
Die Positionen I-III entsprechen den elektronenmikroskopischen Abbildungen der rechten Bildhälfte, der Doppelpfeil (→ ←) bezeichnet das Ende des arachnoidalen Winkels und zugleich das Aneinandertreffen der Wurzelhüllen und der Zellen des subduralen Neurothels.
rechts oben:In der Position I liegt (nunmehr dreischichtige !)Arachnoidea (A) einer mehrschichtigen Wurzelhüllzelllage (WHZ)auf.Des weiteren findet sich eine (basalmembranfreie!)Endoneuralzelle (EZ). Die in der hier getroffenen Arachnoidalzelle vorhandenen tubulären Strukturen stellen eine für das hier untersuchte Material einmalige Beobachtung dar.Sie entsprechen Strukturen, wie sie gemeinhin als spezifische Organellen der Endothelzellen zu finden sind.
1800 x (Schäferhund, wbl., 11 J.)
rechts Mitte:In dieser Position II erscheint die Wurzelhüllzellage (WHZ)deutlich verstärkt, während die Arachnoidalzellsammlung (AA)des arachnoidalen Winkels charakteristische Interdigitationen erkennen läßt (vgl.auch Abb.4).
7500 x (Schäferhund, wbl., 11J.)
rechts unten:In dieser Position III finden sich als kontinuierlich ins Perineurium übergehende Zellverbände die Wurzelhüllzellen (WHZ)und die sich aus dem subduralen Neurothel (SN) herleitende Zellen.Beide Zellverbände sind nunmehr sehr kollagenreich. 4700 x (Schäferhund, wbl., 11 J.)


A
N
II
WHZ
AA
D
N
SN
WHZ
D
III
PN
E
WHZ
A
A
EZ
A
WHZ
AA
WHZ
SN

tritt wieder: Mehrschichtige Arachnoidea, unter der mehrere Lagen von Wurzelhüllzellen liegen, durch eine Basalmembran vom Endoneurium getrennt. Dieser Abschnitt wird in Abb.3, rechts oben wiedergegeben. Die auf dem Bild sichtbare Endoneuralzelle besitzt keine Basalmembran. Die Wurzelhüllzellen zeigen keine große Organellenvielfalt, außer den relativ zahlreichen pinozytotischen Vesikeln. Die Arachnoidalzellen liegen sehr eng aneinander, sind miteinander verzahnt und besitzen zahlreiche Organellen. Markant sind die vielen pinozytotischen Vesikel und das rauhe endoplasmatische Retikulum. Außerdem sieht man in ihrem Zytoplasma interessante tubuläre Strukturen, die sog. spezifischen Endothelorganellen, die sich folgendermaßen charakterisieren lassen: Es handelt sich um 0,1 bis 0,5 µm große, im Querschnitt runde, im Längsschnitt elliptisch erscheinende Gebilde, wie man sie ansonsten in Endothelzellen verschiedener Blutgefäße finden kann. Ihr mäßig bis stark osmiophiles, feingranuliertes Inneres enthält 3 bis 20 Röhrchen von etwa 20 nm Durchmesser, deren Mitte von einem Faden durchzogen wird. Eine Elementarmembran umgibt diese Organellen, deren Funktion noch unbekannt ist. Sie besitzen insbesondere keine Ähnlichkeit mit Lysosomen.

Abschnitt II von Abb.3, links Mitte, zeigt eine Übersicht der Verhältnisse im arachnoidalen Winkel unmit-

telbar vor dem Duradurchtritt. Abb. 3, rechts Mitte, bringt einen elektronenmikroskopischen Ausschnitt. Die Arachnoidea besteht aus kompakten, eng aneinander liegenden Zellen. Diese zeigen sehr enge Interzellularspalten, die durch gap junctions (tight junctions und Desmosomen) überbrückt werden. In den breiteren Interzellularspalten liegen kollagene Fasern, die von den arachnoidalen Zellen mittels einer Basalmembran getrennt sind. Dort fallen ebenfalls zahlreiche Desmosomen auf. Die Zellen bilden charakteristische Interdigitationen und Verzahnungen (Abb.4). Unter den arachnoidalen Zellen findet man die in mehrern Schichten liegenden, schlanken und langgestreckten perineuriumähnlichen Wurzelhüllzellen (Abb.3, rechts Mitte), deren Interzellularspalten wesentlich breiter und mit Kollagenfasern ausgefüllt sind. Eine Basalmembran trennt sie vom Endoneurium.
In Abschnitt III ist das Ende, bzw. die Spitze des arachnoidalen Winkels dargestellt, d.h. die Stelle, wo die Wurzel durch die Dura mater nach außen tritt. An dieser Stelle gehen die Bindegewebshüllen des zentralen Nervensystems in die des peripheren Nervensystems über. Dementsprechend kompliziert ist auch diese Stelle: Die mehrschichtigen Wurzelhüllzelllagen nähern sich den von der Innenschicht der Dura mater sich abspaltenden Zellagen des subduralen Neurothels und verbinden sich mit ihnen, um weiter peripher als bindegewebige perineurale Nervenhülle fortzubestehen.
Abb. 3, links unten, zeigt die Situation deutlich in

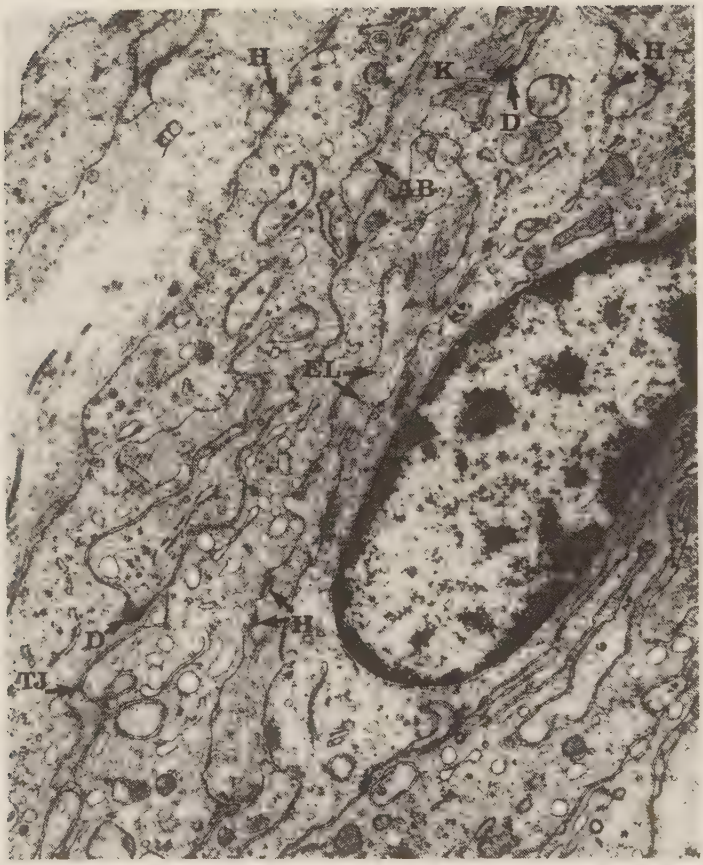


Abb. 4 . Ausschnitt aus Abb.3, rechts Mitte:
Zellen des arachnoidalen Winkels mit deutlichen Interdigitationen und verschiedenen Formen des Zellkontaktes (TJ = tight junctions, D = Desmosomen, H = Hemidesmosomen).
Überall, wo interzellulär Kollagen (=K) oder Elastin (=EL) liegt, finden sich Basalmembranen (AB) und Hemidesmosomen.

einer Übersicht; Abb. 3, rechts unten, zeigt das Aneinandertreffen von Wurzelhüllzellen und Zellen des subduralen Neurothels, die beide eine Vielzahl kollagener Fasern beinhalten.

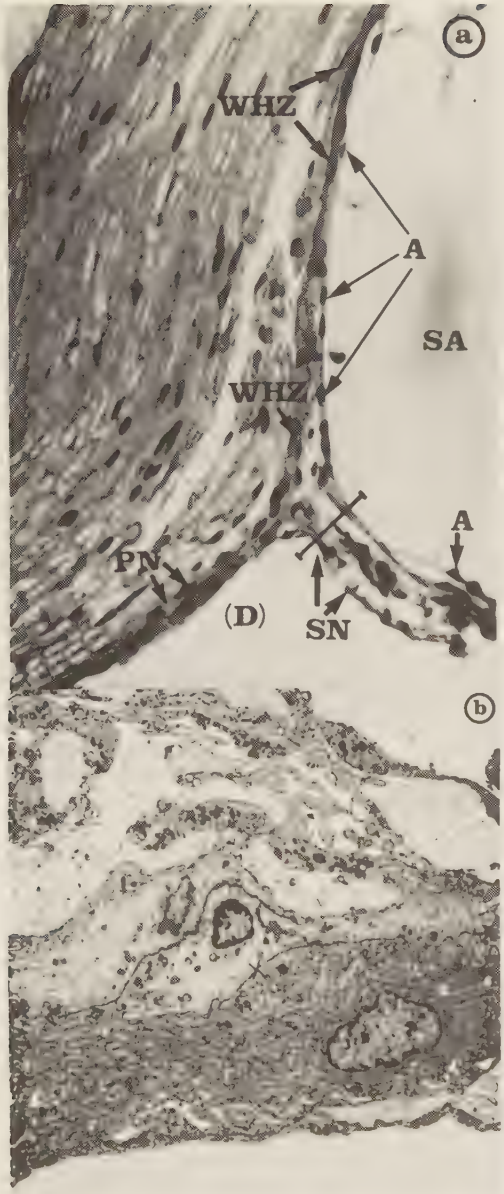
4.2.1.5. Die Wurzelscheide im Bereich des Duradurchtrittes ohne Ausbildung eines arachnoidalen Winkels

Im Bereich des Duradurchtrittes kann noch eine andere Situation vorliegen, nämlich eine solche, bei der die Ausbildung eines arachnoidalen Winkels nicht gesehen wird. Die mehrschichtige Wurzelhüllzellage der sich dem Austritt nähernden Wurzel zeigt einen schmalen arachnoidalen Überzug. Dieser geht auf das von der Dura mater sich abspaltende subdurale Neurothel kontinuierlich über (Abb. 5a). Die Arachnoidea zeigt eine aufgelockerte Zellstruktur mit kollagengefüllten Interzellularspalten. Die Grenze zum subduralen Neurothel wird deutlich durch eine markante Linie (Abb. 5b). Die sehr dicht aneinander liegenden, stark verzahnten Zellen des subduralen Neurothels besitzen kaum Interzellularspalten. Auch in diesem Falle kann der Ursprung des Perineuriums als eine Verlötung von Wurzelhüllzellgewebe und subduralem Neurothel verstanden werden.

Abb. 5 a, b. Licht- und elektronenmikroskopisches Bild der Nervenwurzelhüllen von dem Duradurchtritt ohne Ausbildung eines arachnoidalen Winkels (Bretone, ml., 1 1/4 J.).

a) In dieser Übersicht zeigt sich eine schmächtige arachnoidale Tapete (=A), die den subarachnoidalen Raum auch im Wurzelbereich auskleidet und kontinuierlich auf die pachymeningeale Innenschicht, d.h. das subdurale Neurothel, übergeht. Die Dura ist bei der Präparation abgerissen, was mit (D) bezeichnet ist. Ähnlich wie in Abb.3 wird deutlich, daß sich der Ursprung des Perineuriums (=PN) aus dem Zusammenfluß von Wurzelhüllzellen (=WHZ) und subduralem Neurothel (=SN) ergibt.
   Paraffinschnitt, HE-Färbung, 350 x

b) Das elektronenmikroskopische Bild entspricht dem in Abb. a mit ⊢—⊣ bezeichneten Bereich: Einer z.T. interzellulär mit Kollagen ausgelegten Arachnoidea folgt die sehr dichte Schicht des subduralen Neurothels, wobei mit xxx die Grenze zwischen beiden Schichten bezeichnet ist.
   4700 x


a
WHZ
A
SA
WHZ
A
PN
(D)
SN
b

4.2.1.6. Extraduraler Bereich der Wurzelscheide

Aus Abb. 6, oben, gehen die Verhältnisse der bindegewebigen Wurzelscheide nach dem Duradurchtritt der Wurzel hervor. Eigentlich wäre es exakter, nunmehr von Bindegewebshüllen des peripheren Nerven zu sprechen: Das Epineurium ist an der Austrittsstelle aus der Dura mater spinalis hervorgegangen und es stellt die äußerste Nervenhülle dar. Das Perineurium entstand aus dem Zusammenfluß des Wurzelhüllzellgewebes und des subduralen Neurothels. Eine Basalmembran trennt es vom Endoneurium, dessen Struktur unverändert bleibt. Die Situation besteht auch im Bereich des Spinalganglions (Abb. 6, unten).

Abb. 6 . Lichtmikroskopisches Bild der Nervenwurzelhüllen nach dem Duradurchtritt (=Außenseite).
(Schäferhund, wbl., 11 J.)
oben: Position S_1 im Längsschnitt
unten: Position S_1 im Querschnitt in der Höhe des Spinalganglions.
E = Epineurium, PN = Perineurium, EZ = Endoneuralzellen, MZ = Mantelzelle, G = Ganglienzellperikaryon
Semidünnschnitte nach Epon ® - Einbettung und Azurblau-Färbung, 875 x

Abb. 7 a - d. RENAUTsche Körperchen beim Hund (Cairn-Terrier, wbl., 10 J.):
Extraduraler Wurzelbereich in Höhe S_1. Semidünnschnitt nach Epon® - Einbettung und Toluidin/Safranin-Färbung.

a) Übersicht: Die Körperchen zeigen z.T. breite Verbindungen zum Perineurium. Die scheinbar endoneural liegenden Körperchen sind tatsächlich Ausschnitte tiefer, interfaszikulärer Invaginationen.
140 x

b) und c) Charakteristische Beziehungen zwischen Perineurium und RENAUTschen Körperchen: Während die unveränderten tieferen Schichten des Perineuriums typisch langgestreckte und fortsatzreiche Zellen, durchsetzt mit Kollagen- und Elastinfaserplatten, zeigen, erscheinen die oberen, den Nervenfasern zuwandten Schichten unregelmäßig aufgerollt bis zwiebelschalenartig geschichtet. Neben sehr faserreichen, großen, knolligen Gebilden finden sich eigentümlich "gekammerte" Zellen, die mehrere Kollagenfaserbündel umschließen können.
b = 350 x, c = 875 x

d) Tiefe, interfaszikuläre Invagination mit isoliert liegenden, "gekammerten" Zellen, die von feinfibrillärer Kollagenstruktur umgeben sind, z.T. auch Fibrillen umschließen.
875 x

a
b
c
d

4.2.2. Untersuchung der RENAUTschen Körperchen

4.2.2.1. Lichtmikroskopische Untersuchung

Im extraduralen Wurzelbereich von S_1 eines 10 Jahre alten Cairn-Terrier sind bereits lichtmikroskopisch deutlich sichtbare Veränderungen innerhalb des Nervenfaserbündels zu beobachten. Es handelt sich um frisch präpariertes und damit vorzüglich erhaltenes Gewebe. Nur solche Gewebspräparate sind für histogenetische Studien geeignet.
Wie Abb.7a zeigt, handelt es sich um umschriebene, rundlich-ovale oder spindelförmige, z.T. deutlich geschichtete Gebilde. Diese liegen meist subperineural (an der Innenseite des Perineuriums), aber auch mitten im Endoneurium, dort wo sich endoneurale Trabekel befinden. Über diese Trabekeln besteht eine Verbindung zu den Perineuraltrabekeln und somit eine Kontinuität zum Perineurium (auch wenn sie mitten im Nerveninterstitium liegen). Es sind die sog. RENAUTschen Körperchen, deren charakteristische Beziehung zum Perineurium aus den Abb.7b und 7c ersichtlich wird. Die äußeren, in einer regelmäßigen Anordnung geschichteten Perineuralzellen mit ihren langgestreckten schlanken Zellkörpern, zwischen denen Kollagen- und Elastinfaserplatten liegen, erfahren in Richtung auf das Nerveninterstitium eine grundlegende Veränderung: Die Zellen der inneren perineuralen Schichten stellen sich als unregelmäßig angerollte oder zwiebelschalenartig geschichtete rundliche oder knollige, sehr faserreiche

Strukturen dar, die die Kollagenfaserbildung der Perineuralzellen beeinträchtigen. Ihnen schließen sich helle, locker strukturierte, wirbelige Regionen an, mit den typischen "gekammerten" Zellen, die mehrere Kollagenfaserbündel umschließen können. Sie sind Hauptkennzeichen der RENAUT-Körper.
Obwohl die RENAUTschen Körperchen meist subperineural liegen, bilden sich nicht äußerliche Ausbuchtungen der perineuralen Hülle. Die Körper tendieren vielmehr dazu, eine tiefe Invagination zwischen den benachbarten Nervenfaserbündeln zu zeigen, wie Abb. 7d darstellt. Im Längsschnitt durch ein Nervenfaserbündel sieht man zwischen den Nervenfasern ein in die Tiefe ziehendes RENAUTsches Körperchen. Es weist die typisch "gekammerten" Zellen auf, wobei eine einkammerige sowie eine vierkammerige Zelle besonders deutlich sichtbar sind. Die veränderten und als RENAUT-Körper bezeichneten Gebilde zeigen ein hyalines Aussehen und lassen sich mit Hilfe einer Doppelfärbung nur schwach darstellen.

4.2.2.2. Elektronenmikroskopische Untersuchung

Die elektronenmikroskopischen Untersuchungen der veränderten Areale des Nervenbündels beweisen ihre Zugehörigkeit zum perineuralen Gewebe.Abb.8a und 8b machen deutlich, wie die Struktur der normalerweise längsgestreckten, parallel geschichteten Perineuralzellen nun verändert ist.Diese zeigen nunmehr eine zwiebelschalen-

Abb. 8 a, b. RENAUTsches Körperchen beim Hund (Cairn-Terrier, wbl., 10 J.):
Extraduraler Wurzelbereich S_1. Elektronenmikroskopische Aufnahmen.

a) Charakteristische zwiebelschalenartige Schichtung mit eingeschloßenen Kollagenfasern und Grundsubstanzverdichtungen (↓). Die langgestreckten, vielfach interdigitierenden Zellen sind durchweg von einer Basalmembran eingesäumt und besitzen zahlreiche pinozytotische Randvesikel.
5100 x

b) Im Vergleich zu a) etwas einfacher gebautes (jüngeres ?) Knötchen, an dessen Zentrum sich ein geschichtetes Bündel reifer Kollagenfibrillen befindet, das von ungerichtetem, unreifem Kollagen umgeben ist. Dieses Zentralgebiet wird von einer einzigen Zelle umgrenzt, die sich an einer tief ausgeformten Interdigitation (↓) schließt. Im übrigen weist die Zelle alle Charakteristika der Perineuralzelle auf, so eine deutliche Basalmembran, Randvesikel und Hemidesmosomen.
12000 x

a
b

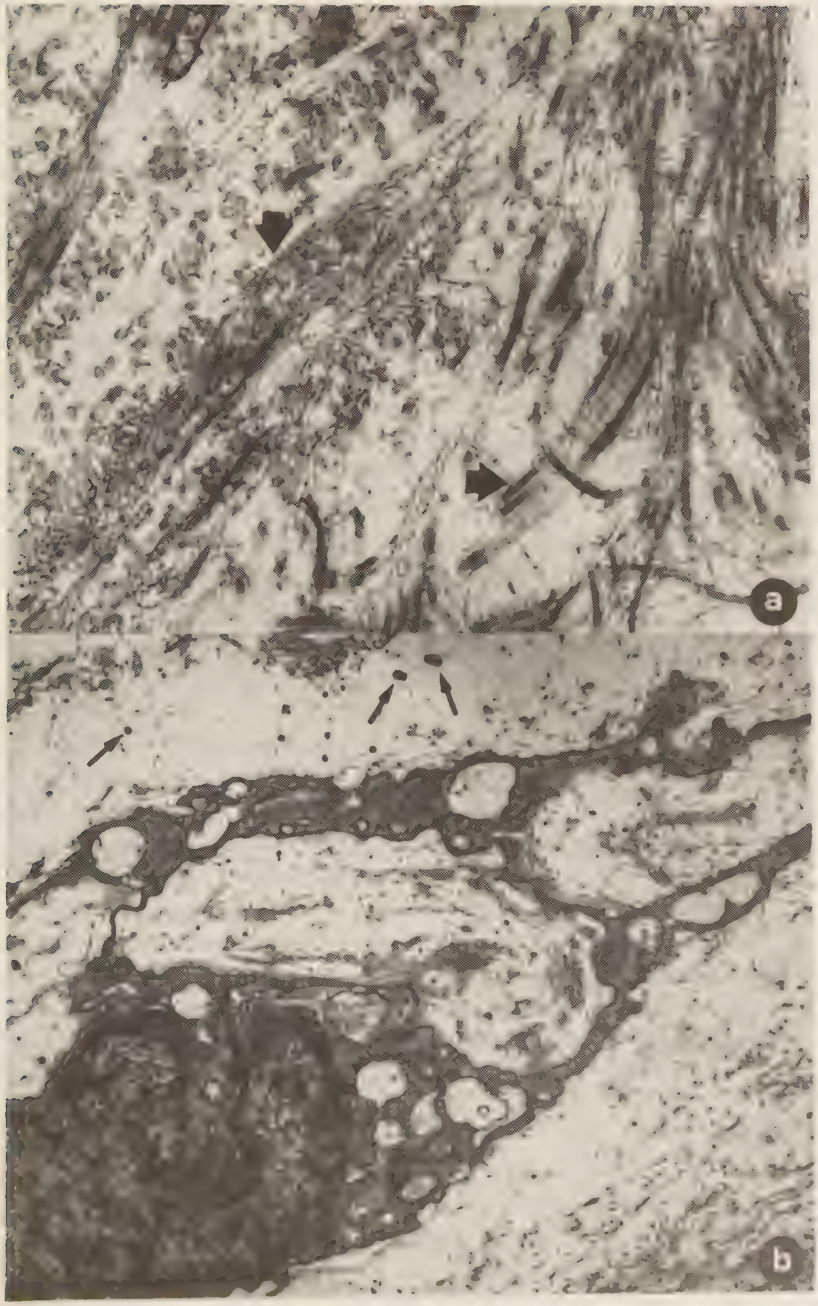
artige, konzentrische Schichtung und schließen in ihren Interzellularräumen große Mengen kollagener Fasern und Grundsubstanzverdichtungen ein. Die Grundsubstanz dürfte über die zahlreichen pinozytotischen Randvesikeln ausgeschleust werden. Wie Abb.8a belegt, schließen sich die konzentrisch geschichteten, langgestreckten Zellen kreisförmig und bilden dabei zahlreiche Interdigitationen.
Abb.8b zeigt eines der vielen Knötchen. Es besitzt einen eher einfachen, jedoch interessanten Aufbau. In seinem Zentrum fallen die im Bündel geschichteten reifen Kollagenfibrillen auf, die von einer großen Menge ungeordneter, unreifer Kollagenansammlungen umgeben sind. Diese innerhalb des Knötchens befindlichen Strukturen werden von einer einzigen Zelle in der Weise eingeschlossen, daß die schlanken, langen Zellfortsätze sich in einer halskettenverschlußähnlichen Form ineinander verzahnen. Die Zelle besitzt zahlreiche Organellen, von denen besonders die Randvesikel zu erwähnen sind, sowie eine für die Perineuralzellen typische, kontinuierliche Basalmembran und Hemidesmosomen.
Die Unordnung der paraplastischen Strukturen in einem RENAUTschen Körperchen zeigt Abb.9a: Die quer und längs getroffenen reifen Kollagenfasern liegen nicht in Bündeln geordnet - wie üblich -, sondern zeigen einen wellenförmigen, gewundenen, mitunter sogar spiral- oder schleifenförmigen Verlauf. Sie sind im übrigen von auffällig dichten Ansammlungen unreifen Kollagens durchsetzt.Ein typisches Merkmal der RENAUTschen

Körperchen stellen, wie bereits angeführt, die "gekammerten" Zellen dar. Diese erweisen sich als bizarre Gebilde mit meist mehreren Kammern verschiedener Größe, deren Wände von einer Basalmembran überzogen werden. Letztere besitzt aber im Gegenteil zur Basalmembran der Perineuralzellen keine Kontinuität. Eine ebensolche Basalmembran überzieht die äußere Zytoplasmamembran der "gekammerten" Zelle. Die außerhalb der Zelle, sowie die in ihren "Kammern" liegende Grundsubstanz enthält offensichtlich auch Proteoglykane. In Abb.9b zeigt die teils wolkige, teils fädig miteinander verbundene Masse schwarze Punkte verschiedener Größe, die als artifiziell zusammengeballte Bestandteile der ungeformten Grundsubstanz (=Proteoglykane) zu verstehen sind.

Abb. 9 a, b . RENAUTsche Körperchen beim Hund (Cairn-Terrier, wbl., 10 J.):
Extraduraler Wurzelbereich in Höhe S_1. Elektronenmikroskopische Aufnahmen.

a) Unterschiedlich reife paraplastische Strukturen ⟶ = reife Kollagenfibrillen, ↓ = unreifes Kollagen. 20 000 x

b) "Gekammerte" Zelle (vgl. Abb. 7 b, c und d), die in großen und kleinen Räumen vorwiegend unreifes Kollagen und ungeformte Grundsubstanz einschließt und von einem ebensolchen Milieu umgeben ist. Sowohl die den "Kammern" zugewandte als auch die äußere Cytomembran sind von einer - allerdings inkompletten - Basalmembran eingesäumt. Diese und die zahlreichen Randvesikel weisen die Zelle als Perineuralzelle aus. Die Pfeile weisen auf teils fädig miteinander verbundene, zusammengeballte (Artefakte?) Grundsubstanzanteile hin. 6300 x


a
b

5. DISKUSSION

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen, daß die Wurzelscheide kein einheitliches morphologisches Gebilde darstellt. Sie ändert ihre Gestalt, während sie den Subarachnoidalraum durchquert. Mit zunehmender Entfernung vom Rückenmark gewinnt sie an Komplexität. So zeigte sich in Übereinstimmung mit LOW und Mitarbeitern, daß das Perineurium im rückenmarksnahen Bereich ein offenes Ende besitzt; es kann mit einem Rohr oder mit einem Ärmel verglichen werden. Diese Beobachtung widerlegt die Auffassung von SHANTA und BOURNE, die in ihren zahlreichen Arbeiten zu der Überzeugung kamen, das Perineurium sei zweischichtig und seine innere Schicht, die sie "perineurales Epithel" nannten, sei aufgrund verschiedener Merkmale mit Zellen der Pia mater und Arachnoidea identisch. Ihr Postulat, es gebe einen kontinuierlichen Übergang zwischen den Hüllen des zentralen und peripheren Nervensystems, brachte eine gewisse Verwirrung hinsichtlich der Auffassungen über den Aufbau der Wurzelhülle.

Bei der Untersuchung der verschiedenen Rückenmarkssegmente im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden keine besonderen Unterschiede in der Feinstruktur der Wurzelscheiden der einzelnen Rückenmarksbereiche beobachtet. Dieser Befund stimmt mit dem von HALLER und LOW erhobenen überein, die überdies betonten, es gebe keine grundlegenden Unterschiede der

Wurzelscheidestrukturen bei den von ihnen untersuchten verschiedenen Tierarten.
In dieser Studie wurden Unterschiede an den dorsalen und ventralen Wurzeln gesehen. Die dorsalen Wurzeln sind länger und besitzen deshalb eine längere Wurzelscheide als die ventralen Wurzeln. MALLOY und LOW haben dagegen Unterschiede bezüglich der Wurzelfaservereinigungsstelle bei dorsalen und ventralen Wurzeln beobachtet. KRÜCKE stellt zudem leichte bauliche Unterschiede im Bereich des Arachnoidalwinkels bei den dorsalen und ventralen Wurzeln fest. Man kann jedoch unserer Meinung nach annehmen, daß die beschriebenen Unterschiede keinen wesentlichen Einfluß auf die Schutzfunktion der Wurzelscheide für das Nerveninterstitium haben.

Das Nerveninterstitium wird in allen von uns untersuchten Wurzelabschnitten von der bindegewebigen Umhüllung durch eine kontinuierliche Basalmembran getrennt. Im übrigen ist ANDRES (1967b) zuzustimmen, der in seiner Studie bereits auf die Kontinuität zwischen Endoneurium und Pia mater spinalis hinweist, die vor allem durch die Fortsetzung der zwischen Pia mater und innerer Arachnoidea liegenden Basalmembran zum Endoneurium hin deutlich wird.

Die Problematik der Feinstruktur peripherer Wurzelhüllen beginnt schon in der zum Teil sehr unterschiedlichen Nomenklatur wie sie von den einzelnen Untersuchern benutzt wird. In dieser Arbeit wurden deshalb die Zellen der Wurzelscheide, die sich außer

einer Ähnlichkeit mit den perineuralen Zellen von anderen Bindegewebszellen unterscheiden, als Wurzelhüllzellen bezeichnet. Sie bilden im proximalen Abschnitt der Wurzel eine einschichtige Zellage, in Richtung auf den Duradurchtritt wächst die Anzahl ihrer Schichten (Abb.1, 2 und 3). Im distalen Abschnitt der Wurzel zeigen innere Wurzelhüllzelllagen eine regelmäßigere Anordnung; sie liegen ferner kompakt nebeneinander. Ihre engen Interzellularspalten werden durch junctions überbrückt. Auffällig sind ihre vielen pinozytotischen Vesikel (Abb.3, rechts Mitte). Diese Beobachtung steht in Übereinstimmung mit der von HALLER und LOW.

Das Problem der unterschiedlichen Nomenklatur stellt sich auch für die innersten pachymeningealen Zellschichten. In dieser Arbeit wurde die von ANDRES (1966; 1967 a u. b) geprägte Bezeichnung "subdurales Neurothel" übernommen, weil diese die exakteste dieser Bezeichnungen ist. In der Arbeit von BENKE und RÖHLICH kam vermutlich infolge der Schrumpfartefakte kein subdurales Neurothel zur Darstellung.

In vorliegender Arbeit konnten zwei unterschiedliche Situationen im distalen Bereich der Wurzelscheide beobachtet werden. In einem Fall kommt es zu deutlicher Ausbildung eines arachnoidalen Winkels, in dessen Spitze, dem Bereich des Duradurchtrittes, sich die mehrschichtigen Wurzelhüllzellagen mit den Zellagen des subduralen Neurothels verbinden (Abb. 3 und 4).

Im anderen Fall wird im Duradurchtrittsbereich keine Ausbildung des arachnoidalen Winkels gesehen; hier geht ein zarter, die Wurzelhüllzellagen bedeckender Arachnoideaüberzug auf das subdurale Neurothel kontinuierlich über (Abb. 5 a und b). In beiden Fällen bildet die Verlötung von Wurzelhüllzellgewebe mit subduralen Neurothel den Ursprung des Perineuriums.

Diese unterschiedliche Feinstruktur der Wurzelscheide in ihrem distalen Bereich fand bis jetzt noch keine Erwähnung in der Literatur.

Die in sakralen Nervenwurzeln des 10jährigen, frisch präparierten, Cairn-Terriers gefundenen und als Modell für die Aufklärung der Ultrastruktur verwendeten RENAUTschen Körperchen stellen eindeutig Metamorphosen des Perineuriums dar. Da elektronenmikroskopische Untersuchungsmethoden weder dem Entdecker RENAUT noch den meisten der späteren Untersucher zur Verfügung standen, dominierte kurze Zeit hindurch die Meinung, es handele sich bei den RENAUTschen Körperchen um endoneurale Veränderungen. Die Frage der Histogenese ist hier von ganz besonderen Interesse und bei Betrachtung verschiedener Entwicklungsstadien von RENAUTschen Körperchen einigermaßen gut mit der Schichtengliederung des Perineuriums in Beziehung zu setzen. Weit schwieriger stellt sich allerdings die Frage nach der kausalen Genese dar.
Die Tatsache, daß RENAUTsche Körperchen vor allem bei älteren oder alten Individuen vorkommen (ADLER), zeigt mindestens einen Aspekt auf. Das in Abb. 8b dar-

gestellte Knötchen zeigt einen einfacheren Aufbau als jenes in der Abb. 8a. Daraus könnte man schließen, daß bei einem betroffenen Individuum durchaus verschiedene Entwicklungs- bzw. Altersstufen solcher Knötchen nebeneinander bestehen können. In den hier untersuchten RENAUTschen Körperchen wurden mehrere typische "gekammerte" Zellen gesehen. Nach ADLER haben die RENAUTschen Körperchen bei jungen Individuen histologisch ein anderes Gepräge als bei älteren. Bei der ersten Gruppe erscheinen diese sehr zellig und dabei faserarm, wobei die "gekammerten" Zellen häufig gesehen werden. Die zweite Gruppe zeigt dichtgefügte und mehr faserige Gestalt der Körperchen, wobei "gekammerte" Zellen auch fehlen können.

Im Hinblick auf die mögliche kausale Genese der RENAUTschen Körperchen erscheint der Vorbericht des hier untersuchten Tieres interessant: Das Tier zeigte einen Monat lang eine wechselnde Krankheitssymptomatik, die als "Dackellähme" und "Herzinsuffizienz" angegeben wird. Bei der röntgenologischen Untersuchung wurden multiple Tumoren mit Lungenmetastasen diagnostiziert, wobei ein ca. männerfaustgroßer derbharter Tumor im Bereich der linken Niere auffiel. Bei der Sektion wurde festgestellt, daß dieser Tumor im Bereich der linken Niere unterhalb des lumbosakralen Bereichs der Wirbelsäule lag. Makroskopisch wurde aber weder eine Veränderung der Wirbelsäule noch der in diesem Gebiet abgehenden Nervenwurzeln beobachtet.

Das wirft die Frage auf, ob und gegebenenfalls inwieweit die Dackellähmeerscheinungen in einem Zusammenhang mit den vorgefundenen Veränderungen des Nervenbündels stehen. Darüberhinaus wäre eine Druckeinwirkung des Tumors auf die sakrale Wurzel und damit die Entstehung RENAUTscher Körperchen denkbar. Dies würde die Ansichten von VANLAIR, RACHMANINOFF und TRZEBINSKI unterstützen, die die RENAUT-Körper als pathologische Gebilde bezeichnen, die infolge von Druckeinwirkung entstehen.
Für diese Pathogenese würde auch die gestörte Kollagenproduktion der Perineuralzellen sprechen, die sie in den vorhandenen RENAUT-Körpern zeigen. Vor allem ist die große Menge von paraplastischen Strukturen unterschiedlicher Reife im extrazellulären Raum auffällig. ASBURY ist der Ansicht, daß in den RENAUTschen Körperchen die Kollagenbildung auf eine äußerst verzögerte Art und Weise vor sich geht, womit das auffallende Vorhandensein der Kollagenstufen erklärt werden könne.
Damit konnte letztlich aber die Frage der kausalen Genese der RENAUTschen Körperchen im Rahmen dieser Arbeit nicht beantwortet werden. Die vorhandenen Ergebnisse werfen vielmehr eine Reihe von weiteren Fragen auf, deren Beantwortung nur durch systematische Untersuchungen an Hunden unterschiedlicher Altersgruppen sowie Berücksichtigung der verschiedenen Körpernerven möglich sein wird.
Grundsätzlich wird man aber die RENAUTschen Körperchen als Hyperplasien (Altershyperplasien?, regeneratorische Hyperplasien?) und nicht als Neoplasien des Perineuriums einstufen müssen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die Arbeit beschäftigt sich mit zwei eng miteinander in Beziehung stehenden Fragenkomplexen: 1. mit der Feinstruktur der Nervenwurzelhüllen des Spinalbereichs und 2. mit Feinstruktur und Histogenese der RENAUTschen Körperchen beim Hund.

ad 1. Der Aufbau der Nervenwurzelscheiden des Hundes ist im gesamten Spinalbereich grundsätzlich gleichartig und läßt sich im Wurzelverlauf wie folgt darstellen.

Im proximalen Abschnitt bedeckt die Arachnoidea als eine einschichtige Zellage die Wurzel. Im weiteren Verlauf schiebt sich unter diese einschichtige Arachnoidea eine einschichtige Wurzelhüllzellage.

Im mittleren Abschnitt der Wurzel werden beide Zellagen mehrschichtig.

Im Bereich des Duradurchtrittes der Wurzel besteht eine äußerst komplizierte Feinstruktur: Ist ein arachnoidaler Winkel deutlich ausgebildet, liegt die mehrschichtige Arachnoidea, charakterisiert durch starke Interdigitationen und zahlreiche Zellverbindungen (junctions), auf der ebenfalls mehrschichtigen Wurzelhüllzellage. Im Winkel treffen die Wurzelhüllzelllagen mit der pachymeningealen Innenschicht, d.h. dem subduralen Neurothel, zusammen. Beide Strukturen bilden zusammen den Ursprung des Peri-

neuriums. Ist ein arachnoidaler Winkel nicht sichtbar, kleidet eine dünne arachnoidale Tapete den subarachnoidalen Raum auch im Wurzelbereich aus, d.h. sie schlägt von der Wurzel unmittelbar auf das subdurale Neurothel über.

Nach dem Duradurchtritt besteht die komplette Hülle des peripheren Nerven aus dem Epineurium (außen), das aus der Dura mater hervorgeht, aus dem Perineurium, das aus den Wurzelhüllzellen und dem subduralen Neurothel hervorgeht, und aus dem unverändert gebliebenen Endoneurium. Eine Basalmembran trennt Endoneurium vom Perineurium.

ad 2. Die RENAUTschen Körperchen stellen rundliche, ovale oder spindelförmige, zwiebelschalenartig geschichtete Gebilde dar, die sowohl an der Innenseite des Perineuriums als auch mitten im Endoneurium liegen. Sie sind eindeutig als Metamorphosen des Perineuriums vom Typ knotiger Hyperplasien, jedoch nicht als Neoplasien zu interpretieren.

SUMMARY: Studies on fine structure of the spinal nerve roots and on the histogenesis of the RENAUT bodies in the dog

The presented studies concern two close correlated subjects, 1. ultrastructure of the sheaths of the canine spinal nerve roots, 2. ultrastructure and histogenesis of RENAUT bodies in the dog.

ad 1. The structures of the sheaths of nerve roots reveal great similarities in all spinal segments investigated. They can be described as follows.
In the proximal segment the arachnoid covers the root as a single cell layer. More distally a second lamina, namely a single-layered sheath appears under the plain arachnoid.
In the middle segment of the root both laminae become multilayered.
In the locations where the roots penetrate the dura, more complicated fine structures can be observed: In areas of distinctly developed arachnoidal angle the root sheath cell layer is overlayed by a multilayered arachnoid, characterized by numerous interdigitations and junctions. In the depth of the angle the sheath cells run together with the cells of the pachymeningeal inner layer, i.e. the subdural neurothelium, forming the origin of perineurium. If no true arachnoidal angle exists, a only thin arachnoidal layer covers the subarachnoidal area, however, the perineural origin is also established by confluence of root sheath cells and

the subdural neurothelial cells.
After the root has passed the dura the complete sheath of the peripheral nerve consists of the epineurium, originating from the dura mater, of the perineurium, originating from root cell layer tissue and from subdural neurothelium, and of the endoneurium. A basement membrane seperates endoneurium from epineurium.

ad 2. The RENAUT bodies represent roundish, oval or spindle-shaped entities which look like onion bulbs close attached to the inner side of the perineurium or endoneurial septa. They are of unmistakable perineural origin and have to be classified as hyperplasias, however, not as neoplasias.

7. LITERATURVERZEICHNIS

ADLER, K.: Über die Renaut'schen Körperchen.
Zbl. Inn. Med. 61, 369-378 (1940)

AKASHI, Y.: Electron microscope studies on the fine structure of the arachnoid membrane on the base of the rabbit brain.
Acta anat. nippon. 47, 285-297 (1972)

ANDERSON, D.R.: Ultrastructure of meningeal sheaths.
Arch. ophtal. 82, 659-674 (1969)

ANDRES, K.H.: Die Feinstruktur des subduralen Neurothels der Katze (Felis catus L.).
Z. Naturwiss. 8, 204-205 (1966)

ANDRES, K.H.: Über die Feinstruktur der Hüllen des Nervensystems der Katze (Felis catus L.).
Verhdl. d. Anat. Ges. Ges.1966, Ergänzungsh. z. Bd. 120, 483-487 (1967a)

ANDRES, K.H.: Über die Feinstruktur der Arachnoidea und Dura mater von Mammalia.
Z. f. Zellforsch. Mikroskop. Anatomie 79, 272-295 (1967b)

ARNOLD, P.F.: Annotationes anatomicae de velamentis cerebri et medullae spinalis. Turici 1838.
(zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

ASBURY, A.K.: Renaut bodies (A forgotten endoneurial structure).
J. Neuropath. Exper. Neurol. 32, 334-342 (1973)

BENKE, B. und B. RÖHLICH: Elektronenmikroskopische Untersuchungen an den Hüllen der Rückenmarkswurzeln. 1.Hintere Wurzel.
J. Hirnforsch. 7, 87-98 (1964)

BICHAT, M.-F.-X.: Traité d'Anatomie descriptive, Paris 1802 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

BICHAT, M.-F.-X.: Anatomie générale appliqué à la Physiologie et. à la Médecine. Übers. v. PFAFF, Th.I, 1, Leipzig 1802 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

BOGROS, A.-J.: Repertoire générale d'anatomie et de physiologie 1827, T. IV. (Bei KEY und RETZIUS nach ROBIN, Archives générales de Médecine, 1854, zitiert.)

BRIGHTMAN, M.W.: The distribution within the brain of ferritin injected in cerebrospinal fluid compartments. I. Ependymal distribution.
J. Cell. Biol. 26, 99-123

BURDACH, K.F.: Vom Baue und Leben des Gehirns, Bd.I,II, Leipzig 1819-1822 (zit.nach KEY u. RETZIUS 1876)

BURKEL, W.E.: The histological fine structure of perineurium.
Anat. Rec. 158, 177-190 (1967)

CAUSEY, G. and A.A. BARTON: The cellular content of the endoneurium of peripheral nerve.
Brain 82, 594-598 (1959)

CLARA, M. und N. ÖZER: Untersuchungen über die sogenannte Nervenscheide.
Acta neuroveg. 20, 1-18 (1959)

CLOYD, M.W. und F.N. LOW: Scanning electron microscopy of the subarachnoid space in the dog. I. spinal cord levels.
J. Comp. Neur. 153, 325-367 (1974)

CRESCITELLI, F.: Nerve sheaths as a barrier to the action of certain substance.
Amer. J. Physiol 116, 229-240 (1951)

DYCK, P.J. and E.H. LAMBERT: Polyneuropathy associated with hypothyroidism.
Neuropath. Exp. Neurol. 29, 631-658 (1970)

EIKICHI-OKADA : Über zwiebelartige Gebilde im peripherischen Nerven (Renaut'sche Körperchen).
Ref. Neur. Ztbl. 1903 (zit nach SCHEIBNER)

ELMAN, R.: Spinal arachnoid granulations with especial reference to the cerebrospinal fluid.
Bull. John Hopkins, Hosp. 32, 99-104 (1923)

FARQUHAR, M.G. and G.E. PALADE: Adenosine triphospatase localization in amphibian epidermis.
J. Cell. Biol. 30, 359-379 (1966)

GASSER, H.S.: Properties of dorsal root unmedullated fibres on the two sides of the ganglion.
J. gen. Physiol. 38, 709-728 (1955)

GERBER, F.: Handbuch der allgemeinen Anatomie des Menschen und der Haussäugethiere, 1840 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

GLEES, D.: Observations on the structure of the connective tissue sheaths of cutaneous nerves.
J. Anat., Lond., 77, 153-159 (1943)

HALLER, F.R. and F.N. LOW: The fine structure of the peripheral nerve root sheath in the arachnoidal space in the rat and other laboratory animals.
Am. J. Anat. 131, 1-19 (1971)

HALLER, F.R., A.C. HALLER and F.N. LOW: The fine structure of cellular layers and connective tissue spaces at spinal nerve root attachments.
Am. J. Anat. 133, 109-123 (1972)

HIMANGO, W.A. and F.N. LOW: The fine structure of a lateral recess of the subarachnoid space in the rat.
Anat. Rec. 171, 1-20 (1971)

JÄCKEL, A.: Zur Klassifizierung der Tumoren im Nervenwurzelbereich beim Hund.
Diss. med. vet. München 1983

FIEDLER H.H. und W. DROMMER: Licht- und elektronenoptische Untersuchungen an der Membrana limitans gliae superficialis und der Leptomeninx im Rückenmark des Schweines.
Zbl. Vet. Med. C. Anat. Hist. Embryol. 5, 206-223 (1976)

FREDERICKSON, R.G. and F.R. HALLER: The subarachnoid space interpreted as a special portion of the connective tissue space.
Proc. N. D. Acad. Sci. 24, 142-159 (1971)

FREIFELD, H.: Zur Frage der pathol.anat. Veränderung bei der Bleivergiftung.
Virchows Arch. 268, 463 (1928)

FREUND, W.: Mikrosk. Untersuchungen an peripherischen Nerven bei Erkrankungen des Säuglingsalters.
Monatsh. f. Psych. u. Neur. Bd.VI, 14 (1899)

FROMMANN, C.: Untersuchungen über die normale und pathologische Anatomie des Rückenmarks. Jena 1864.
(zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

GALENUS, C.: Opera omnia, T.V. Ed. Kuhn, 602 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

GAMBLE, H.J.: Comparative electron-microscopic observations on the connective tissue of a peripheral nerve and a spinal root in the rat.
J. Anat. 98, 17-25 (1964)

KEY, A. und G. RETZIUS: Studien in der Anatomie des Nervensystems.
Arch. f. mikroskop. Anatomie 9, 308-386 (1873)

KEY, A. und G. Retzius: Studien in der Anatomie des Nervensystems und des Bindegewebes. P.A. Nordstedt & Söner, Stockholm 1876 (Bd.II)

KLIKA, E.: The ultrastructure of meninges in vertebrates.
Acta Univ. Carol. Med. 13, 53-71 (1967)

KÖLLIKER, R. A. von : Mikroskopische Anatomie oder Gewebelehre des Menschen. Bd.II, 1850 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

KOPP, J.: Veränderungen im Nervensystem, besonders in den peripherischen Nerven des Hundes, nach Extirpation der Schilddrüsen.
Virchows Arch. Path. Anat. 128, 290-317 (1892)

KRNJEVIC, K.: The connective tissue of frog sciatic nerve.
Quart. J. esp. Physiol. 39, 55-72 (1954)

KRÜCKE, W.: Erkrankungen des peripherischen Nervensystems. In: Handbuch der pathologischen Anatomie. Hrsg. von O. LUBARSCH, F. HENKE und R. RÖSSLE, Bd. XIII/5, Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1955

KRÜCKE, W.: Pathologie peripherer Nerven. In: Handbuch der Neurochirurgie. Bd. VII/3. Hrsg. v. OLIVE-CRONA, TÖNNIS, KREKEL, Springer-Verlag, Berlin 1974

LAIDLAW, G.F.: Silver staining of the endoneural fibers of the cerebrospinal nerves.
Am. J. Pathol. 6, 435-443 (1930)

LANGHANS, T.: Über Veränderungen in den peripherischen Nerven bei Cachexia thyreopriva des Menschen und Affen, sowie bei Kretinismus.
Virchows Arch. Path. Anat. 128, 318-408 (1892)

LIEBERMANN, A.R.: The connective tissue elements of the mammalian nodose ganglion.
Z. f. Zellforsch. Mikroskop. Anat. 89, 95-111 (1968)

LINDBLOM, K.: The subarachnoid spaces of the root sheaths in the lumbal region.
Acta Radiologica (Stockholm) 30, 419-426 (1948)

LOPEZ, C.A.S. and W.G.P. MAIR: Ultrastructure of the arachnoid membrane in man.
Acta Neuropath. 28, 167-173 (1974)

LOW, F.N.: A boundary membrane concept of ultrastructure applicable to the total organism.
Proc. Third European Regional Conf. on Electron Microscopy II, 115-116 (1964)

LOW, F.N.: The perineurium and connective tissue of peripheral nerve. In: The peripheral nerve.
Hrsg. v. D.N. LANDON, Chapmann & Hall, London 1976

LUDIN, H.P. und W. TACKMANN: Renaut-Körper. In: Polyneuropathien. Georg Thieme Verlag Stuttgart-New York 1984

LUSCHKA, H. von: Die Adergeflechte des menschlichen Gehirns. Berlin 1855 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

MALLOY, J.J. and F.N. LOW: Scanning electron microscopy of the subarachnoid space in the dog. II. Spinal nerve exits. J. Cop. Neurol. 157, 87-107 (1974)

McGABE, J.S. and F.N. LOW: The subarachnoid angle: An area of the transition in peripheral nerve. Anat. Rec. 164, 15-34 (1969)

MONROE, A.: Observations on the Structure and Functions of the nervous systen. Edinburgh 1783 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

MORSE, D.E. and F.N. LOW: The fine structure of subarachnoid macrophages in the rat. Anat. Rec. 174, 469-476 (1972)

NAGEOTTE, I.: Note sur les formations cavitaires par perinevrite dans les nerfs radiculaires. C. R. Soc. Biol. Paris 54, 1443-1445 (1902)

NONNE, M.: Klinische und anatomische Untersuchungen eines Falles von Poliomyelitis ant. chronica. Dtsch. Z. f. Nervenheilk. 1, 157 (1891) (zit. nach SCHEIBNER)

OTT, N.: Über peri- und endoneurale Wucherungen in den Nervenstämmen einiger Tierspezies. Virchows Arch. 136, 69 (1894)

PEASE, D.C. und R.L. SCHULZ: Electron microscopy of rat cranial meninges. Am. J. Anat. 102, 301-321 (1958)

PETERS, A., S.L. PALAY and H. de F. WEBSTER: The fine structure of the nervous system: The neurons and supporting cells. W.B. Saunders, Philadelphia 1976

PICK, F.: Über die Renaut'schen Körperchen (endoneurale Wucherungen, LANGHANS). Zbl. Path. 12, 212 (1901) (zit. nach SCHEIBNER)

PRINEAS, J.W., J.G. McLEOD and W.H. WOLFENDEN: Endoneurial deposits of amyloid-like fibrils in a recurrent demyelinating neuropathy. An electron microscopic study. J. Neuropath. Exp. Neurol. 30, 583-592 (1971)

PROCHASKA, G.: De structura nervorum. Vindobonae 1779 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

QUAIN, J.: QUAINS'S Anatomy: Seventh edition. Edited by SHARPEY, THOMSON and CLELAND. P.II. London 1866 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

RACHMANINOFF, J.: Contribution à la neurite périphérique. Rev. de méd. 1892 (zit nach SCHEIBNER)

RASCOL, M.M. and J.Y. IZARD: The subdural neurothelium of the cranial meninges in man. Anat. Rec. 186, 429-436 (1976)

REMAK, R.: Archiv f. Anatomie, Physiologie und wissenschaftl. Medicin. Jahrg. 1841 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

RENAUT, J.: Recherche sur quelque points particulier d'histologie des nerfs. Archives de Physiologie (Paris) 8, 180-190, (1881)

RENAUT, J.: Système hyalin de soutènement des centres nerveux et de quelques organes des sens. Archives de Physiologie (Paris) 8, 846-859, (1881)

REXED, B.A. and K.G. WENSTRÖM: Arachnoideal proliferation and cystic formation in the nerve root pouches of men. J. Neurosurg. 16, 73-84 (1959)

RUMP, C.: Ein Fall multipler Neurome. Virchows Arch. 80, 177 (1880).(zit nach SCHEIBNER)

SANDVOSS, W.: Über das sogenannte intravaginale hyaline System (Système hyalin intravaginal) des peripherischen Nervengewebes (Renaut). Diss. med. Marburg 1939

SCHACHENMAYER, W. und R.L. FRIEDE: The origin of subdural neomembranes. I. Fine structure of the dura-arachnoid interface in man.
Am. J. Pathol. 92, 53-68 (1978)

SCHAFFER, J.: Die endoneuralen Blasenzellen. Handb. d. mikrosk. Anatomie d. Menschen von W. v. MÖLLENDORF. Bd.2, 2. Teil (1911). (zit. nach SCHEIBNER)

SCHEIBNER, H.: Über die sogenannten Renaut'schen Körperchen.
Diss. med. Freiburg i. Br. 1939

SCHULTZE, F.: Über circumscripte Bindegewebshyperplasien od. Bindegewebsspindeln (Nodules hyalins von RENAUT) in den peripheren Nerven des Menschen.
Virchows Arch. 129, 170 (1892)

SEITZ, R., J. LÖHLER and G. SCHWENDEMANN: Ependyma and meninges of the spinal cord of mouse. A light- and electron-microscopic study.
Cell Tissue Res. 220, 61-71 (1981)

SHANTA, T.R. and G.H. BOURNE: A perineural epithelium.
J. Cell Biol. 14, 343-346 (1962a)

SHANTA, T.R. and G.H. BOURNE: The "perineural epithelium", a metabolically active, continuous, protoplasmic cell barrier surrounding peripheral nerve fasciculi.
J. Anat. 96, 527-537 (1962b)

SHANTA, T.R. and G.H. BOURNE: The perineural epithelium sympathetic nerves and ganglia and its relation to the pia arachnoid of the central nervous system and perineural epithelium of the peripheral nervous system.
Z. Zellforsch. 61, 742-753 (1964)

SHANTA, T.R. and G.H. BOURNE: Perineurial epithelium: A new concept of its role in the integrity of the peripheral nervous system.
Science 154, 1464-1467 (1966)

SHANTA, T.R. and G.H. BOURNE: The perineural epithelium - A new concept. In: The structure and function of nervous tissue, G.H. BOURNE, Vol. I, 379-459, Academic Press, New York 1968

SHARPEY, W.: Elements of Anatomy by J. QUAIN. Sixth Edition. Vol.I. London 1856 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

SICARD, J.A. und R. CESTAN: Les nerfs de conjugaison (nerf radiculaire spinal).
Bull. Soc. med. Hop. Paris 21, 715-725 (1904)

SOEMMERRING, S.T. von: De corporis humani fabrica. T.IV. 1798. (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

SOMBERG, H.M.: The relation of the subarachnoid and perineural spaces.
J. Neuropath. 16, 166-171 (1947)

TARLOW, I.M.: Structure of the nerve root. I. Nature of the junction between the central and the peripheral nervous system.
Arch. Neurol. Psychiat. 37, 555-583 (1937)

THOMAS, P.K.: The connective tissue of peripheral nerve: An electron microscopic study.
J. Anat. 97, 35-44 (1963)

THOMAS, P.K. and D.G. JONES: The cellular response to nerve injury. 2. Regeneration of the perineurium after nerve section.
J. Anat. 101, 45-55 (1967)

TRETJAKOFF, D.: Die Renautschen Körperchen.
Virchows Arch. Path. Anat. 259, 743-760 (1926)

TRIPATHY, R.C.: Ultrastructure of the arachnoid mater in relation to outflow of cerebrospinal fluid.
The Lancet 819, 8-11 (1973)

TRZEBINSKI, S.: Weiteres über endoneurale Wucherungen.
Virchows Arch. Path. Anat. 199, 454-471 (1910)

VALENTIN, G.G.: Acta Acad. Caes. Leop. Carol. Nat. Cur. Vol. XVIII. P.I. (1836). (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

VANLAIR, C.: La mésonéurite noduleuse. Arch. de Neurol. 84, 81-112 (1894)

VIEUSSENS, R. de: Nevrographia universalis. Francofurti 1690. (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

WAGGENER, J.D. and J. BEGGS: The membranous coverings of neural tissues: An electron microscopy study.
J. Neuropath. Exper. Neurol. 26, 412-426 (1967)

WEISS, C.: Über endoneurale Wucherungen in den peripheren Nerven des Hundes.
Virchows Arch. 135, 326 (1894)

WESTPHAL, C.: Über einen eigentümlichen Symptomenkomplex bei Erkrankung der Hinterstränge des Rückenmarks.
Arch. f. Psych. 16, 778 (1885)

WINSLOW, J.: Exposition anatomique de la structure du corps humain. Paris 1732 (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

WOLTMANN, H.W. and R.M. WILDER: Diabetes mellitus: pathologic changes in the spinal cord and peripheral nerves.
Arch. Intern. Med. 44, 576-603 (1929)

ZINN, J.G.: De l'envelope des nerfs. Mémoires de l'Acad. de Berlin (1753). (zit. nach KEY und RETZIUS 1876)

Allen, die mir bei der Entstehung dieser Arbeit in irgendeiner Form behilflich waren, möchte ich von Herzen danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. E. Dahme für die Überlassung des Themas, für seine wertvollen Hinweise sowie die gewährte, großzügige Unterstützung.

Herrn Dr. A. Mannl und Herrn Dr. Th. Bilzer, den med. techn. Assistentinnen Frau Czich, Frau Kallweit, Frau Söllner, sowie dem med. techn. Assistenten Herrn Tauscher danke ich für ihr Verständnis und die technischen Hilfeleistungen.
Mein Dank gilt auch Frau Lechner, die mir bei fotografischen Arbeiten stets hilfsbereit zur Seite stand.

L E B E N S L A U F

Name:	Marie Cemus
Geburtsdatum:	8. April 1953
Geburtsort:	Prag
Eltern:	Miloslav Cemus, Dipl. Ing. Marie Cemus, geb. Chvojková
Schulen:	1959 - 1968 Grundschule in Prag 1968 - 1970 Naturwiss. Gymnasium in Prag 1970 - 1971 Neusprachl. Gymnasium in Berlin 1971 - 1974 Sozialwiss. Gymnasium in München
Schulabschluß:	Abitur, Mai 1974
Studium der Tiermedizin:	Ludwig-Maximilians-Universität München Beginn im Wintersemester 1974/75
Studien-abschluß:	Tierärztliche Prüfung im Mai 1981
Approbation:	Juli 1981